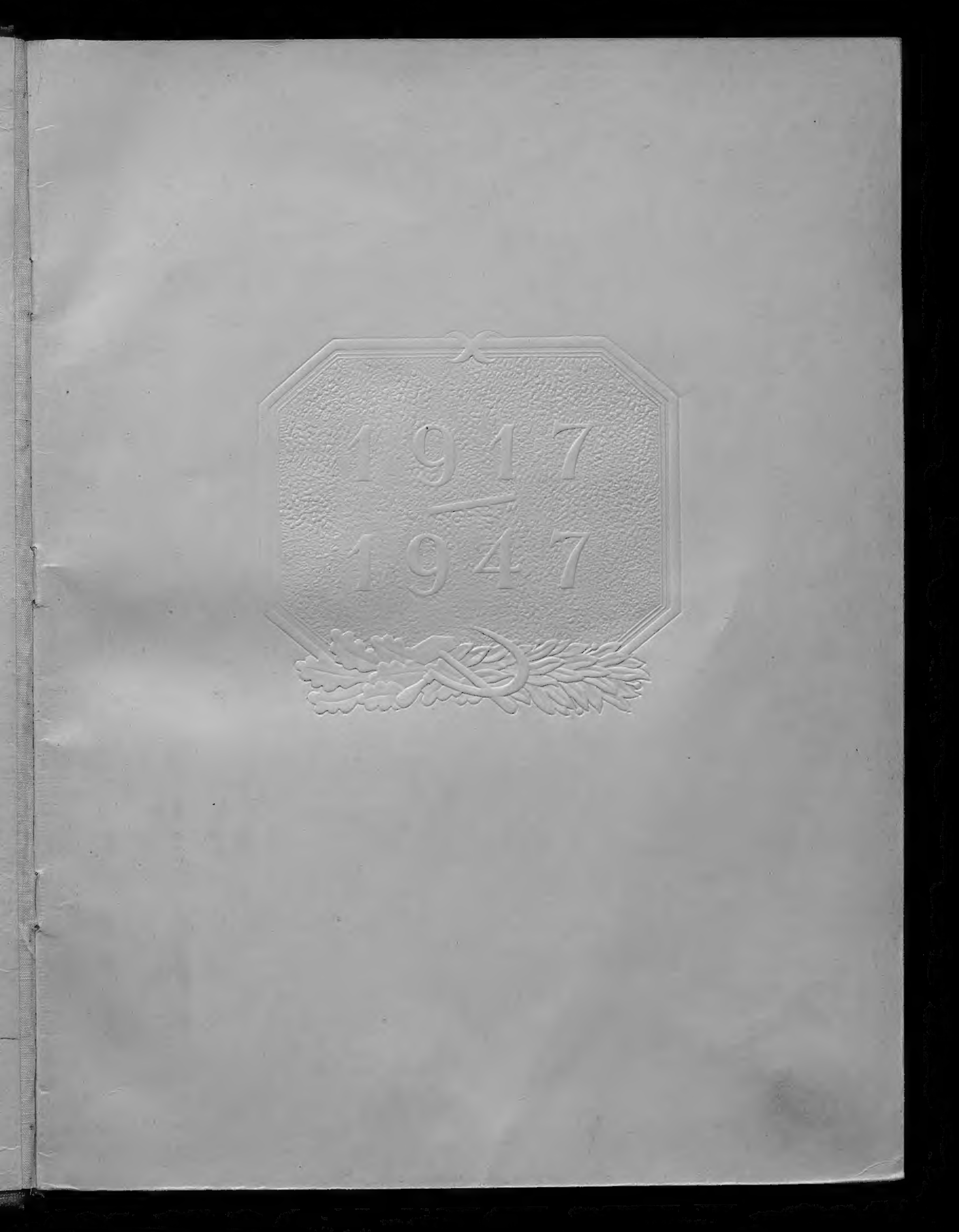


ЮБИЛЕЙНЫЙ СБОРНИК

ПОСВЯЩЕННЫЙ ТРИДЦАТИЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

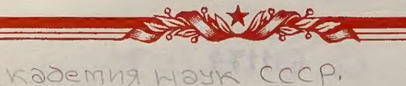



1917
1947




АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

АКАДЕМИЯ НАУК
Союза
Советских
Социалистических
Республик



ЮБИЛЕЙНЫЙ СБОРНИК

ПОСВЯЩЕННЫЙ ТРИДЦАТИЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ



В ДВУХ ЧАСТЯХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · ЛЕНИНГРАД
1947





РЕДАКЦИЯ:

академик С. И. Вавилов (главный редактор),
академик В. П. Волгин, академик Н. Г. Бруевич,
академик А. Н. Заварицкий, академик А. Н. Несмеянов,
член-корреспондент АН СССР X. С. Коштоянц,
профессор Б. И. Сегал (ученый секретарь редакции)

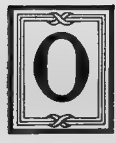
ЧАСТЬ ВТОРАЯ



ГЕОЛОГИЯ
*
МИНЕРАЛОГИЯ
*
ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Профессор
А. А. Чернов

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ А. П. КАРПИНСКОГО



сновные монографии по палеонтологии были написаны А. П. Карпинским до Октябрьской революции, но и впоследствии он неоднократно возвращался к поднятым в них вопросам и выводам и дал много дополнительных работ, в которых приводил новый фактический материал или разбирал критические замечания различных ученых на его исследования. В последние годы им были описаны также и некоторые новые объекты. Работы А. П. Карпинского в советский период относятся к аммонитам, едестидам, трохилискам и некоторым загадочным образованиям.

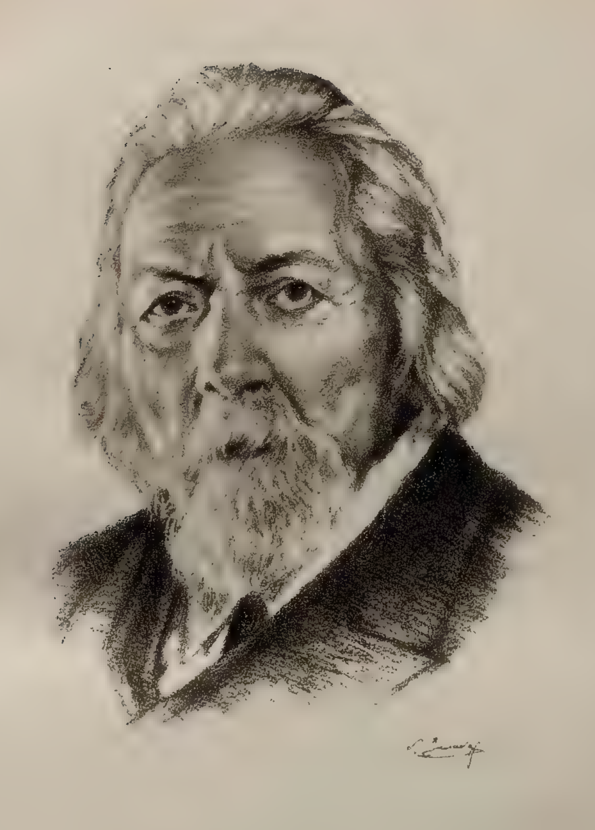
В 1924 г. А. П. Карпинский опубликовал на английском языке статью «О новом виде аммонита из сем. Medlicottinae, о взаимных отношениях родов этого семейства и об онтогении и филогении Prolecanitidae» [9]. Эта работа явилась естественным продолжением его большого исследования об аммонеях артинского яруса (1889 г.), создавшего ему славу крупнейшего палеонтолога.

А. П. Карпинский впервые в России применил при исследовании аммонитов онтогенетический метод и благодаря этому добился крупных результатов в установлении родственных связей между изучаемыми формами. Описанные им многочисленные и разнообразные аммониты рисуют нам интереснейший этап в развитии этих своеобразных вымерших головоногих. Этими исследованиями был прочно обоснован особый век

в истории органического мира, названный А. П. Карпинским артинским по имени Артинского завода, в окрестностях которого эти аммониты впервые были найдены. Артинский ярус был установлен в качестве переходных отложений между каменноугольной и пермской системой, так называемого «пермокарбона». Он прочно вошел в науку, но позже, в связи с общей тенденцией доводить границы систем до соприкосновения, был отнесен к нижней перми.

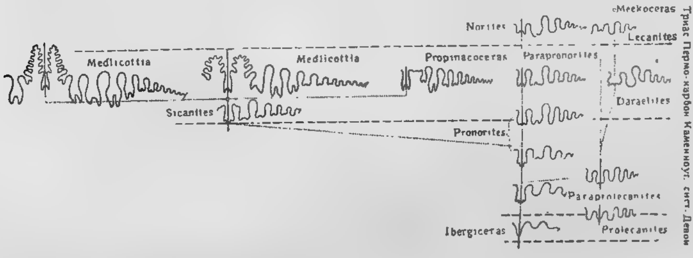
Среди артинских аммонитов обширное семейство пролеканитид занимает доминирующее место. Их плоские, спирально свернутые раковины различаются формой, величиной, скульптурой и другими признаками, из которых важнейшее значение имеют лопастные линии, т. е. изгибы наружного края перегородок, разделяющих раковину на камеры. Лопастные линии отчетливо выступают на ядре аммонита после удаления его раковины. Развитие аммонита начинается с начальной шаровидной камеры, вокруг которой, по мере роста мягкого тела, происходит его завивание, причем животное отделяет в своей задней части последовательные известковые перегородки, обитая только в последней или жилой камере. Лопастные линии последовательных перегородок становятся все более сложными, и таким образом раковина несет в себе весь путь своего индивидуального развития или онтогенеза. Вместе с тем этот путь в сокращенной форме представляет длительный процесс развития предковых форм данного аммонита, и, изучая индивидуальное развитие аммонита, мы устанавливаем те последовательные формы лопастных линий, которые были свойственны его предкам, тем более древним, чем более ранние стадии мы изучаем. Таким образом, устанавливается филогенетическое развитие различных ветвей аммонитов и устанавливаются между ними родственные связи.

В своей классической монографии А. П. Карпинский разделил пролеканитид на три подсемейства, из которых подсемейство медликоттин имело формы с наиболее сложными лопастными линиями. В наиболее ранней фазе развития всем пролеканитидам свойственна стадия *Ibergiceras*, состоящая из сифонной лопасти и двух боковых (фиг. 1). Эта стадия лопастной линии характеризует древнейшего девонского предка пролеканитид. Следующая стадия, очень близкая к предыдущей и состоящая главным образом из приращения боковых лопастей, называется *Prolecanites*. Известно большое количество видов, характеризующихся ло-



пастной линией этого типа и найденных в среднем и верхнем девоне и в нижнекаменноугольных отложениях. В 1896 г. А. П. Карпинский описал новый вид *Prolecanites asiaticus* из карбона Киргизской степи и детально проследил развитие этой формы от начальной камеры (фиг. 2).

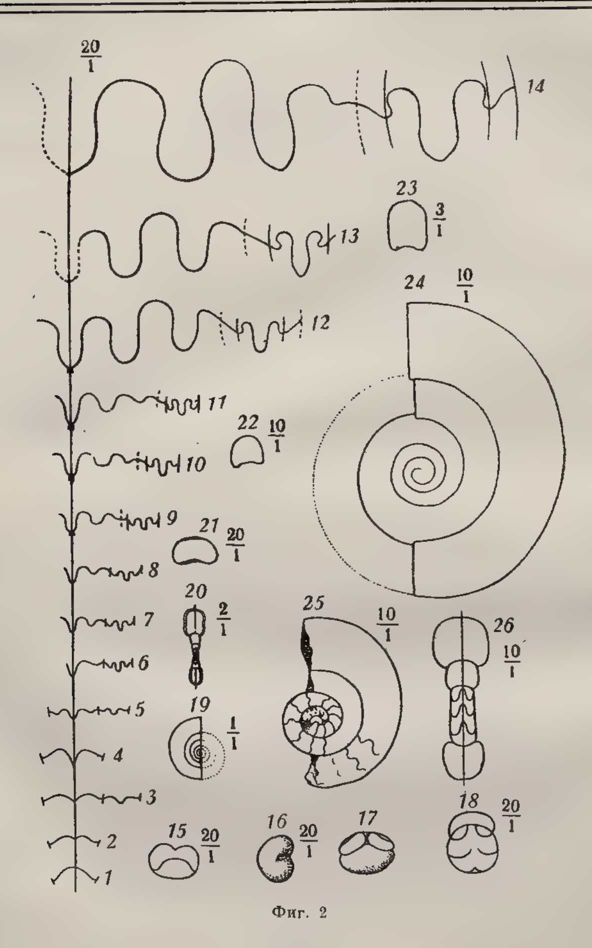
Со стадии *Prolecanites* и близкой к ней стадии *Paraprolecanites* начинается расхождение пролеканитид на три ветви. Одна из этих ветвей, характеризующаяся появлением мельчайшей зазубренности в основании



Фиг. 1

лопастей, дает в артинском веке род *Daraelites.* Другая ветвь ведет к артинскому роду *Parapronorites* с расчленением на несколько зубчиков основания первой боковой лопасти. Третья ветвь приводит к медликоттиям и другим родам. Уже в 1889 г. А. П. Карпинский правильно отметил, что медликоттии распадаются на три группы, но не дал им названий. В 1904 г. одной из этих групп Нетлинг предложил родовое наименование *Episageceras.* В работе 1924 г. А. П. Карпинский описал новый вид *Episageceras borealis*, найденный Ф. Н. Чернышевым в артинских (?) отложениях Новой Земли. Род *Episageceras* интересен в том отношении, что является группой пролеканитид, переходящей из пермских отложений в триасовые. Обыкновенно же триасовые аммониты резко отграничиваются от пермских, и генетические связи между теми и другими устанавливаются в редких случаях.

Лопастные линии семейства медликоттий характеризуются большим количеством двураздельных боковых лопастей и расчленением сифонных седел, остающихся у других пролеканитид простыми (фиг. 1). У группы *Episageceras* сифонные седла очень сильно изрезаны, и в этом отношении


20/1
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
23 3/1
24 10/1
22 10/1
21 20/1
20 2/1
19 1/1
25 10/1
26 10/1
15 20/1
16 20/1
17
18 20/1

Фиг. 2

они сходны с другой группой семейства, за которой А. П. Карпинский оставил прежнее родовое название *Medlicottia*. Но форма раковин резко разграничивает оба рода: у *Episageceras* сифонная сторона приплющена, у *Medlicottia* она очень узка и несет два острых киля. Третьей группе медликоттий А. П. Карпинский дал новое родовое название *Artinskia*: сюда относятся формы тоже с сильно расчлененными сифонными седлами, но сифонная сторона раковин сопровождается двумя рядами бугорков.

В 1927 г. А. П. Карпинский в последний раз вернулся к обзору аммонитов в статье, посвященной и другим ископаемым [4]. Он подвел некоторые итоги своей сорокалетней работе по аммонитам, так как он хотя и мало писал по ним в последние годы, но продолжал следить за очень возросшей литературой. Он имел полное право с удовлетворением смотреть на пройденный путь. А. П. Карпинский писал: «Среди исчезнувших, совершенно вымерших групп животных, повидимому, нет таких, у которых изучение их онтогенетического развития и выяснения филогенеза было бы доступно с такой легкостью, как у аммоней. Хотя от них сохранились одни раковины, но последние обладают такими сложными признаками, относящимися до их формы, скульптуры, лопастных линий и пр., что малейшее изменение в том или другом направлении легко может быть замечено». Подробно перечислив эти признаки, А. П. Карпинский отметил, что онтогенетические и филогенетические отношения изученных им пролеканитид могут служить хорошим примером правильности биогенетического принципа и не противоречат законам Бэра и выводам академика Северцова.

Перейдем к работам по едестидам. С 1922 по 1930 г. А. П. Карпинский опубликовал несколько статей, дополняющих его классическую монографию 1899 г. по едестидам и последующие дореволюционные работы. Едестиды представляют вымершее семейство рыб, относящееся к древнему отряду эласмобранхий, к которому принадлежат и современные акулы. Рыбы этого отряда не имеют твердого внутреннего скелета, и в ископаемом состоянии от них сохраняются только зубы, спинные шипы, называемые ихтиодорулитами, и плакоидные чешуйки (шагрени). Находимые до появления работы А. П. Карпинского отдельные зубы или сегменты, иногда образующие сплошной ряд из нескольких сегментов, последовательно возрастающих в размерах и расположенных дугообразно, относили к различным видам рода *Edestus*. А. П. Карпинский описал

своеобразный орган в виде спиральной пилы и отнес его к новому роду *Helicoprion*. Вид он назвал *H. bessonovi* в честь ученого, открывшего эти остатки в окрестностях г. Красноуфимска Молотовской области.

Эта монография отличается исключительной детальностью и считается непревзойденным образцом палеонтологического исследования. Спиральный орган состоит из несоприкасающихся оборотов, сохранившихся в числе 3.5 (фиг. 3). Он представлен постепенно увеличивающимися «сегментами», суживающимися к внешней стороне спирали, где каждый сегмент заканчивается симметричным зубом с зазубренными краями. Таких сегментов насчитывается до 146. Поверхность зубов и большей части сегментов покрыта гладким эмалевидным веществом.

Было подробно изучено внутреннее строение спирали, иллюстрированное многочисленными гистологическими препаратами. Приведен химический состав ископаемого, описаны плакоидные чешуйки или шагрени, наблюдавшиеся местами между внутренней стороной оборотов спирали и зубами предыдущей извилины. Большой раздел работы посвящен выводам, причем достоверные результаты отделены от предположений. А. П. Карпинский считал вполне достоверной принадлежность *Helicoprion* и едестид вообще к эласмобранхиям. Он считал также доказанным, что спираль *Helicoprion* не была свободной и внутренняя сторона ее была соединена с мягкими частями животного. Двусторонняя симметрия ископаемого показывает, что спираль связана со серединной линией животного и представляла, вероятно, орган, отделявшийся от верхней или нижней челюсти и направленный вперед, как сильный орган нападения.

Работы А. П. Карпинского вызвали необыкновенный интерес среди ученых различных национальностей. Бельгийское общество геологии, палеонтологии и гидрологии обратилось к разным ученым с просьбой дать отзывы об этих удивительных находках и посвятило два заседания докладам о них. Но лучшим критиком работы о *Helicoprion* оказался сам автор: он детально разбирал все критические замечания, некоторые решительно опровергал, другие считал заслуживающими внимания. Вместе с тем он давал новые дополнительные работы по остаткам едестид.

В 1922 г. А. П. Карпинский описал новый вид *Helicoprion ivanovi*, найденный в доломитах гжельского яруса у дер. Русавкиной под Москвой и состоящий из 7 сегментов, частью обломанных и потертых [1]. В том же году он опубликовал «Замечания о зубных сегментах *Edestidae* и об их



Фиг. 3

ориентировке» [2]. В следующем году был описан новый род *Parahelicoprion* [3], оличающийся от *Helicoprion* бо́льшими размерами спирали, массивностью сегментов и другими признаками (фиг. 4), вполне оправдывающими выделение нового рода. В 1924 г. в юбилейном сборнике

Бельгийского геологического общества была напечатана сводная работа А. П. Карпинского о находке остатков *Parahelicoprion* и о соотношениях этого рода с *Campodus* [8]. А. П. Карпинский установил, что сегменты *Parahelicoprion* обладают некоторыми общими признаками с сегментами



Фиг. 4

симфизального аппарата рода *Campodus*, найденного сначала в каменноугольных отложениях Бельгии, Англии и Северной Америки, а затем только в виде одного зуба, описанного А. П. Карпинским из артинских отложений Урала. В этой же работе А. П. Карпинский описал зуб и большой обломок ихтиодорулита, найденные у Красноуфимска. Он не сомневался в том, что эти остатки принадлежат тому же виду *Parahelicoprion*, который был описан им раньше. На особом рисунке он реставрировал весь ихтиодорулит, представляющий серповидно изогнутое образование

более полуметра длиной. Эта находка лишний раз свидетельствует о правильности давнего вывода А. П. Карпинского о том, что спирали едестид и ихтиодорулиты не были между собой связаны.

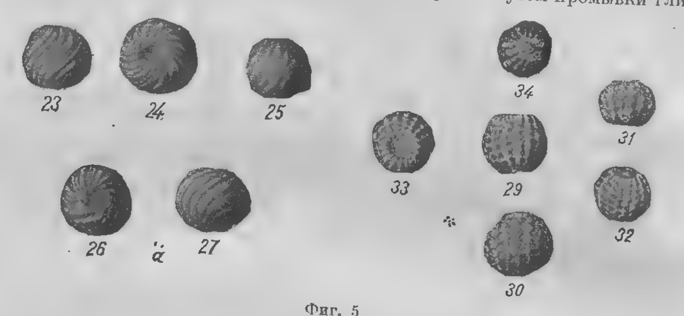
В 1927 г. А. П. Карпинский рассмотрел еще один обломок *Parahelicoprion* [4], состоящий из трех неполных сегментов и представляющий непосредственное продолжение одного из ранее описанных образцов. В 1930 г. он в последний раз кратко остановился на исследовании остатков *Helicoprion* [5]. Новые находки едестид окончательно установили правильность первоначального положения А. П. Карпинского, что зубные дуги и спирали едестид связаны с полостью рта, а не с шипами животных, как думали некоторые исследователи. Описывая спирали едестид, А. П. Карпинский представлял и образ жизни этих хищных рыб, властителей древних морских просторов, и условия их многократной гибели в водах тихой бухты артинского моря, находившейся в окрестностях современного Красноуфимска.

Исключительного внимания заслуживают исследования А. П. Карпинского по трохилискам. Основная работа о них была выполнена им в 1906 г. Трохилиски представляют древнейшую группу ископаемых харовых (*Charophyta*), причисляемых обыкновенно к своеобразным водорослям. Современные харацеи (*Characeae*) представляют изолированную группу, обособившуюся еще в мезозойской эре. У них выработалось половое размножение при помощи спорофиад, или оогоний. Последние снабжены очень прочной оболочкой, под прикрытием которой ооспоры могут сохраняться годами до наступления благоприятных условий для их прорастания. Известковая скорлупа оогоний, образующаяся у многих видов хар, способствует сохранению их в ископаемом состоянии.

Трохилиски встречаются преимущественно в девонских отложениях. А. П. Карпинский доказал, что они распадаются на два рода, принадлежащие различным семействам. Размеры их колеблются от долей миллиметра до 2 мм. Род *Sycidium* представляет полую эллипсоидальную известковую скорлупу, состоящую из продольных частей или долей. Род *Trochiliscus* имеет полую сферическую скорлупу, иногда боченковидную, иногда луковицеобразную (фиг. 5). Поверхность ее покрыта спиральными ребрышками, количество которых у одних видов 8—9, у других 18.

До работы А. П. Карпинского эти загадочные образования относили к самым различным животным и растениям: их считали то форамини-

ферами, то полипами, то яйцами панцырных рыб. Наиболее распространенным взглядом была принадлежность их к сифонеям—известковым водорослям. А. П. Карпинский установил, что трохилиски наиболее сходны с известковою оболочкою ооспор харацей, но представляют не прямых предков их, а исчезнувшие боковые ветви харовых. Они имеют, по всей вероятности, значительное распространение, но обнаружить их можно лишь в исключительных случаях, главным образом путем промывки гли-



Фиг. 5

нистых пород. А. П. Карпинский детально описал большое количество форм, для установления которых он изучил тысячи экземпляров.

Как и в работах по едестидам, некоторые ученые не усвоили убедительных доказательств А. П. Карпинского о строении изученных ископаемых и остались на ложных позициях. В работе 1927 г. [4] А. П. Карпинский разоблачает неправильные установки этих ученых. Так, он возражает против голословного утверждения, что род *Sycidium* относится к сифонеям. Он детально изучил строение последних и установил некоторое сходство *Sycidium* с сифонеями только во внешней эллипсоидальной форме, но не в основных признаках. Будучи строгим критиком своих исследований, он утверждал, что если *Sycidium* не принадлежит к харовым, то представляет особые прибрежные растения пресных или солоноватых вод, не оставившие в последующие времена никакого следа.

В 1916 г. из пурбекских (верхнеюрских) слоев Англии были описаны остатки харофита, названного родом *Clavator*. А. П. Карпинский

высказал предположение, что этот род может быть потомком *Sycidium* или общего их предка, причем у него уменьшилось число листочков оболочки и сократилась их многоклеточность.

В 1922 г. из каменноугольных слоев Новой Шотландии были описаны оогонии, названные *Palaeochara* и отличающиеся от оогоний современных хар шестью спиральными клетками оболочки вместо пяти. А. П. Карпинский указывает, что у современных харацей оболочки из 6 и даже 7 листочков встречаются как исключение и могут рассматриваться как атавистическое уклонение.

Новейшие исследования о трохилисках подтвердили не только основные выводы А. П. Карпинского, но и некоторые его прогнозы об их систематике и генетических отношениях. Крупнейший американский специалист по ископаемым харовым Р. Пек вполне разделяет взгляды А. П. Карпинского на систематику *Charophyta*. Работы А. П. Карпинского по трохилискам считаются образцовыми по их методу, полноте исследований и всесторонне обоснованным выводам.

Нам остается упомянуть об относительно небольших работах А. П. Карпинского по группе ископаемых, которые принято относить к категории *Problematica*. Объекты этого рода считаются неблагодарными для их обработки, так как являются очень трудоемкими, требуют больших знаний литературы и в результате обработки иногда приводят к весьма спорным выводам. В сущности к такого рода загадочным организмам нужно отнести едестиды и трохилиски. А. П. Карпинский не только не чуждался этих объектов, но специально изучал их и благодаря своей высокой научной эрудиции давал необыкновенно ценные исследования.

В 1930 г. А. П. Карпинский предварительно описал проблематическое ископаемое, найденное Т. А. Добролюбовой в нижнекаменноугольном известняке Печорского Урала [6]. Ископаемое представляет два образца волнистых слоев чешуйчатого покрова, налегающих друг на друга. Микроскопические препараты покрова привели А. П. Карпинского к заключению, что наружные части чешуек обращены внутрь покрова, а основания чешуек—наружу. Животное сбросило облекавший его покров, который при этом был выворочен, как это наблюдается у современных змей и амфибий. Был предпринят ряд тонких исследований по определению состава чешуек вплоть до применения рентгеновских лучей. Кроме того, А. П. Карпинский предпринял широкое изучение литературы

по палеонтологии, зоологии, сравнительной анатомии и биологической химии. Исследования не были закончены. В предварительном сообщении А. П. Карпинский дал ископаемому временное название *Proamphibia problematica*, «чтобы побудить будущих исследователей отнестись с законным сомнением к сделанному выводу и с открытием остатков скелета проблематического организма в сопровождении описанного чешуйчатого покрова заменить предложенное название более целесообразным». В этих словах видна скромность истинного ученого, для которого важны достижения науки, а не вопросы приоритета.

В 1932 г. А. П. Карпинский опубликовал исследование о загадочных отпечатках, называемых *Paleodictyon meneghini* [7]. В отложениях различного возраста издавна были известны отпечатки, состоящие из сети шестиугольных ячеек. Итальянский геолог Meneghini считал их отпечатками водорослей и назвал их *Paleodictyon*. А. П. Карпинский изучил подобные образования, найденные у нас в Крыму, на Кавказе и за восточным склоном Урала, и пришел к выводу, что они не имеют органического происхождения. Одни отпечатки образуются в результате прохождения газа через песок и покрывающий его тонкий слой ила, другие могут образоваться от падения дождевых капель.

☆

Палеонтологические работы А. П. Карпинского справедливо считаются классическими и непревзойденными по полноте, тщательности исследований и использованию всей иногда очень обширной литературы, относящейся к изучаемым объектам. Александр Петрович всегда изучал оригинальные работы, принадлежавшие авторам даже весьма отдаленных времен, и не довольствовался ссылками на них в более поздних работах. Палеонтологические исследования требуют основательных знаний по ботанике и зоологии, и мы видим в А. П. Карпинском высокообразованного биолога. Эти знания тем более удивительны, что он, будучи воспитанником Кадетского горного корпуса, не получил там биологического образования. Удивительна и широта его биологических знаний, охватывающих самые различные отделы растений и животных, среди последних как беспозвоночных, так и позвоночных. Все палеонтологические исследования А. П. Карпинского были выполнены параллельно с его крупнейшими

геологическими работами, составившими эпоху в изучении нашей страны, в частности родного ему Урала. С самых первых шагов своих исследований Александр Петрович был убежденным дарвинистом.

Революция застала Александра Петровича уже в преклонном возрасте. Посвящая много времени организационной работе на посту первого выборного президента Академии Наук, он и в эти годы дал ряд работ по палеонтологии, свидетельствующих о его исключительных знаниях и неослабной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Helicoprion ivanovi* n. sp. Изв. Акад. Наук, VI серия, т. XVI, 1922, № 1—18.
2. Замечания о зубных сегментах *Edestidae* и об их ориентировке. Изв. Акад. Наук, VI серия, т. XVI, 1922, № 1—18.
3. *Helicoprion* (*Parahelicoprion* n. g.) *clerci*. Зап. Урал. об-ва люб. естеств., т. XXXIX, 1923—1924.
4. О некоторых новых данных об остатках организмов, признаваемых проблематическими, о делаемых относительно их и других ископаемых выводах и о научной критике. Ежег. Русск. палеонтол. об-ва, т. VII, 1927.
5. Об изучении проблематических объектов и явлений; исследование остатков *Helicoprion*. ДАН СССР, 1930, № 15.
6. О проблематическом ископаемом из палеозойских слоев Северного Урала. ДАН СССР, 1930, № 15.
7. О проблематических отпечатках, известных под названием *Paleodictyon meneghini*. Изв. Акад. Наук, серия геол., 1932, № 9.
8. Sur une nouvelle trouvaille de reste de *Parahelicoprion* et sur les relations de ce genre avec *Campodus*. Soc. Géol. Belgique. Livre jubil., Liège, 1924.
9. On a new species of Ammonoid of the family *Medlicottinae*; on the relationship between genera of this family, and on the ontogeny and phylogeny of *Prolecanitidae*. Ежег. Русск. палеонтол. об-ва, т. IV, 1922—1924.

Академик
В. А. Обручев

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ МОЛОДЫХ ГЛЫБОВЫХ ДВИЖЕНИЙ В СОЗДАНИИ РЕЛЬЕФА И МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ СИБИРИ



После первых планомерных геологических исследований, проведенных в Сибири в связи с постройкой железной дороги через всю страну от Урала до Владивостока, среди геологов создалось представление о значительной древности рельефа Сибири, об отсутствии сколько-нибудь крупных горообразовательных движений на всем пространстве этой страны в течение третичного периода и даже мезозойской эры, за немногими исключениями. Сильная складчатость была обнаружена почти только в отложениях докембрийских и палеозойских, и казалось, что страна подвергалась сильным горообразовательным движениям только в течение каледонского и варисского циклов после нескольких, еще мало выясненных, докембрийских.

Но уже Э. Зюсс в «Лике земли», устанавливая на основании сводки И. Д. Черского [24] и исследований Забайкальской горной партии [8] понятие о древнем темени Азии, окруженном рамой складчатых горных цепей [30, стр. 53], отмечал обнаруженные в разных местах большие разломы и опускания в горных странах, создавшие горстовое строение, и указывал, что в большинстве случаев разломы совпадают в направлении с простиранием складок и сопровождаются часто поясами эффузивных пород с туфами и брекчиями [там же, стр. 55].

Упомянув, что русские геологи предложили для обозначения этих явлений весьма подходящий термин «дизъюнктивных дислокаций» и что

образование ряда субпараллельных разломов и грабенов нельзя объяснить без принятия некоторого растяжения, направленного, примерно, так же, как и древняя складкообразовательная сила, Зюсс отметил наличие этих разломов и грабенов в бассейне р. Селенги. Он подчеркнул также, что присутствие молодых лав и кратеров доказывает, что процесс дизъюнкции еще не закончился и что образование впадины Байкала нужно объяснить подобной же дизъюнкцией, имевшей место перед сарматским или понтийским веком третичного периода [30, стр. 48].

Вывод Зюса о молодости образования впадины Байкала не согласовался ни с моим выводом (основанным на работах в Забайкалье), что эта впадина образовалась одновременно с остальными впадинами Селенгинской Даурии в качестве грабена палеозойской эры [8, стр. 613], ни тем более с мнением Черского, который считал, что впадина Байкала — результат сжатия силурийских складок, т. е. является синклинальной долиной [25, стр. 35]. Но я уже предполагал, что новое поднятие горста, представляющего Приморский и Онотский хребты и ограничивающего впадину Байкала с запада, имело место в послетретичное время и обусловило поднятие уровня воды Байкала и образование послетретичных озер в грабенах Селенгинской Даурии, имевших сток вод в Байкал [8, стр. 623—628].

Немного позже, в 1916 г., М. М. Тетяев, после исследований в районе с. Горемыки на западном берегу Байкала, заявил, что к концу бореальной трансгрессии Прибайкалье представляло сглаженную равнину, пенеплен, с зрелой гидрографической сетью и широким развитием озер. Медленное и постепенное поднятие этой суши во второй половине постплиоцена имело свой максимум на месте нынешнего Прибайкалья и образовало тот орографический горб, каким представляется ныне эта область. На этом горбе образовалась Байкальская впадина путем такого же медленного и постепенного оседания в виде целого ряда мелких ступенчатых сбросов типа Рейнской долины. В заключение он добавил, что образование этого «древнейшего темени Евразии» как нагорной страны совпадает с появлением человека [23, стр. 113—115].

В отношении времени этот вывод был, конечно, неправилен, так как на низменной почти-равнине до ее поднятия во второй половине постплиоцена не могло бы развиться оледенение (которое Тетяев отрицал, не заметив ясных доказательств его на Приморском хребте), но мысль

о молодом поднятии и одновременном расчленении разломами с образованием грабенов совпадала с мнением Зюсса.

В эти же годы финляндский ученый И. Г. Гранэ, изучавший Алтай, пришел к выводу, что эта горная страна почти до конца третичного периода представляла почти-равнину, которая в самом конце этого периода была поднята, расчленена эрозией, подверглась оледенению и получила свой современный сложный рельеф [27]. Одновременно и независимо от него я, после путешествия по Алтаю в 1914 г., пришел к такому же выводу о молодости рельефа Алтая, но предполагал, что поднятие почти-равнины и расчленение ее разломами на отдельные глыбы началось уже в мезозое. Это путешествие было предпринято мною для проверки убеждения геологов, что Алтай — складчатая горная страна и, согласно Зюссу, является молодым теменем Азии, от которого складкообразовательные движения, создававшие систему алтаид, распространились в палеозойскую эру на всю Азию и даже на другие материки [30, стр. 249]. Но после исследований соседнего Калбинского хребта в 1911 г. я начал сомневаться в складчатом генезисе современного рельефа Алтая и захотел познакомиться с его строением [9]. Позже я присоединился к выводу Гранэ о поднятии и расчленении почти-равнины во время третичного периода. К этому же выводу пришел и В. П. Нехорошев и ряд других геологов, изучавших Алтай уже в советское время.

Таким образом, молодость современного рельефа Сибири ко времени Октябрьской революции была уже предположена с достаточным основанием в двух районах, довольно далеко отстоящих друг от друга, — Байкальском и Алтайском.

В 1922 г. в небольшой статье я привел выводы Дэвиса, Гентингтона, Пемпелли и Махачека о том, что Тянь-шань к третичному периоду был превращен в почти-равнину и возрожден молодыми движениями, сопровождавшимися сбросами; отметил данные Депре о юных эпейрогенетических поднятиях в Южном Китае и Индокитае, Эстрейха о почти-равнинах на Верхнем Инде на высотах 3800—4000 м, Уиллиса о третичных почти-равнинах на Утай-шане в связи с юными поднятиями. Я указал, что наряду с мягким сглаженным рельефом сибирских гор и долин, доказывающим старость этих форм, часто встречаются узкие долины, переходящие в ущелья, крутые склоны гор, зазубренные гребни и вершины, альпийские формы, вообще сочетание зрелых и старческих форм, с одной стороны,

и незрелых юных, с другой — в близком соседстве. Я упомянул нахождение базальтовых лав, — разных, но молодых, третичного и четвертичного возрастов, — конечно, изливавшихся по трещинам молодых разломов, причем покровы этих лав, залегающие на гребнях гор, доказывают молодые поднятия; отметил резкий обрыв Байкальского нагорья, Русского Алтая, Верхоянского, Северно- и Южно-Муйского хребтов к соседним равнинам или долинам в качестве доказательств недавних, более или менее крупных вертикальных движений земной коры. Эта статья и носила заглавие «Юные движения на древнем темени Азии» [10].

В том же году финляндский географ Г. Гаузен на Международном геологическом конгрессе в Бельгии сделал доклад о геоморфологическом развитии плоских возвышенностей Средней Сибири и прилегающих горных стран на границе с Монголией. Он отметил значение поднятий среднетретичного времени для формирования современного рельефа этих пограничных гор, — поднятий, связанных с сбросами, создавшими сложный рельеф горстовых цепей, — и упомянул обширные излияния базальтовой лавы, происшедшие ранее создания этого рельефа. Но географический цикл, начатый этими среднетретичными движениями, окончился уже ранее конца третичного периода, и новый расчлененный рельеф, в основном соответствующий современному, создан новыми нарушениями, большей частью в виде сбросов. Гаузен указал, что наиболее значительные дислокации происходили в поясе различной ширины от Алтая до Охотского моря, содержащем глубокие опускания в виде впадин Кузнецкой, Минусинской, оз. Байкала, Урянхайской, Тункинской и многих долин Забайкалья. Он же привел структурные доказательства сбросов и флексур, горячие источники, и отметил, что эти поднятия моложе лав, уцелевших в виде остатков на нагорьях и вершинах, но древнее четвертичного оледенения, и что эрозия находится еще в юной стадии, и на большинстве гор сохранились большие участки поднятых почти-равнин. Он указал также на сильное расчленение горных блоков, разбитие почти-равнин на ступени, создание альпийского рельефа эрозией и оледенением на блоках, поднятых выше общего уровня [29, особенно стр. 1117—1119].

Быстрое развитие геологического изучения Сибири в советское время обнаружило уже в ряде местностей, ранее мало или совсем не известных, признаки молодых вертикальных движений и омоложения рельефа вплоть

до появления альпийских форм. Экспедициями С. В. Обручева и Арктического института развитие молодых форм рельефа было найдено на северо-востоке Якутской республики в хребтах Верхоянском, особенно же в ранее совершенно не известном хребте Черского, в примыкающем к нему с севера хребте Тас-хаяхтах и в соседних хребтах Чукотского полуострова. Эти горы оказались молодыми, складчатыми, поднятыми в конце мезозоя и, кроме того, испытавшими в третичный и четвертичный периоды еще несколько поднятий по разломам, как указывают несколько ярусов террас в речных долинах [16 и 3].

При площадной съемке Восточного Забайкалья были открыты морские отложения триаса, нижней и средней юры, ранее неизвестные, подвергавшиеся значительной складчатой дислокации (и даже, по первоначальному убеждению М. М. Тетяева и его сотрудников, крупным шариажам). Наличие этой верхнеюрской складчатости уже не позволяло считать Забайкалье к востоку от Яблонового хребта частью древнего темени, как полагал Зюсс. Новые исследования в Амурском бассейне и в Приморье также обнаружили наличие мезозойской и даже третичной складчатости, сопровождавшейся интрузиями. Некоторые геологи, изучавшие восток Сибири, присоединились к предложению китайских геологов различать на востоке всей Азии тихоокеанский, или иеншанский, орогенический цикл, состоящий из нескольких фаз складкообразовательных движений, которым подверглись отложения перми и мезозоя. Это предложение оправдывалось тем, что на востоке Азии варисский (герцинский) цикл закончился ранее, чем далее к западу и в Европе, именно в конце карбона или в самом начале перми, и, удерживая европейскую номенклатуру, пришлось бы считать, что альпийский цикл на востоке захватил и пермские отложения. Распространение этого цикла на все движения в мезозое вообще неудобно, и лучше ограничить его третичным и четвертичным временем, вводя новый термин «тихоокеанского» для мезозойских движений.

В 1933 г., описывая по новым данным хребты Яблоновый и Становой, я пришел к выводу, что последний представляет сложную систему горстов и грабенов, созданную сбросами, по которым в разное время прорывались вулканические породы, слагая вулканы, покровы и потоки.

Разломы, вероятно, начались уже в докембрийское время, но повторялись в палеозое, мезозое и в третичном периоде, а последние движения

могли происходить и в четвертичную эпоху в связи с оледенением. Современный рельеф зависит главным образом от дизъюнктивных дислокаций разломов и сбросов [12]. Я привел мнения Шварца, Подъяконова и Танфильева о продолжении Станового хребта на запад от р. Олекмы и данные разных исследователей о хребтах Кодар, Удокан, Каларских, Делюн-Уранском, Северно- и Южно-Муйском в качестве продолжения Станового хребта, которое я довел до верховий р. Баргузина, откуда на ЮЗ отходят горные цепи Прибайкалья. Было отмечено сходство геологического строения этих цепей и Станового хребта, обилие горячих источников, остатки четвертичных вулканов и обширное развитие базальтов, указывающие на очень молодые разломы [12, стр. 23—27].[1]

Новые данные, полученные в разных местностях Сибири, позволили мне в 1936 г., в статье о молодости рельефа этой области, привести целый ряд указаний на третичные и четвертичные вертикальные движения, во многих случаях в виде вспучиваний, сопровождаемых раскалыванием на отдельные глыбы, часто связанным с излиянием вулканических пород. Этими примерами — от Калбинского хребта на западе до о-ва Сахалина на востоке — даже не были исчерпаны указания, имевшиеся в новой литературе, на молодые движения, обусловившие омоложение рельефа. Были приведены некоторые данные об амплитудах четвертичных поднятий от 120—150 м на севере до 1000 м и более на юге [11].

В 1937 г. Е. В. Павловский, присоединяясь к предположению о продолжении Станового хребта на запад от р. Олекмы в район Прибайкалья, определил его как молодое сводовое поднятие и подробно рассмотрел всю западную часть под названием Байкальского сводового поднятия. Он полагает, что этому поднятию предшествовало к третичному, может быть, верхнетретичному, времени формирование зрелого рельефа с речной сетью, совершенно отличной от современной. В конце третичного и

[1] Эта статья, напечатанная в малораспространенном сборнике, известна немногим; несколько короче она была повторена в английском Geographical Journal, 1935, № 5. Нужно отметить, что новых сведений о Становом хребте в печатной литературе почти нет и до сих пор не решен вопрос, продолжается ли этот хребет по берегу Охотского моря от устья р. Удь до р. Урак или только до Аяна, принадлежит ли хребет Джугджур (Алданский Миддендорфа) к системе Станового хребта, как я предполагал в той же статье, или является совершенно другим образованием, что теперь кажется более вероятным.

в первой половине четвертичного периода мощные движения земной коры создали сводовое поднятие в виде широкой и плоской дуги, протянутой на СВ и ВСВ. Вероятно, одновременно с поднятием свода происходило оседание его осевой части, обусловившее заложение и развитие ряда впадин, что сопровождалось вторичным переформированием речной сети, так как наиболее глубокие впадины стали озерами, т. е. базисами эрозии. Со второй половины постплиоцена продолжалось поднятие крыльев свода и дальнейшее опускание впадин. Четвертичное оледенение почти всей области сводового поднятия внесло некоторые особенности в развитие рельефа и речной сети. Водная масса Байкала в ее современных границах, вероятно, геологически молодое образование.

Е. В. Павловский подробно рассмотрел также вопрос, представляет ли впадина Байкала тип рифт или рамп, т. е. является ли грабен, вмещающий эту впадину, результатом растяжения или сжатия земной коры. Он сравнивает ее с системой впадин Восточной Африки и находит между той и другими большое сходство в разных отношениях. Сводовое поднятие Станового хребта и Байкальское расположены на грани двух крупных структур — устойчивой с древних времен Сибирской платформы и молодого складчатого монголо-охотского пояса [19].

Таким образом, различные исследователи за последние десятилетия нашли в разных частях Сибири доказательства молодых, т. е. сравнительно недавних, третичных и четвертичных вертикальных движений. Большое значение для нахождения этих доказательств имело установление в начале XX века американским географом Дэвисом понятий о циклах эрозии и почти-равнинах, которые обострили взоры исследователей, раньше мало уделявших внимания изучению истории развития форм рельефа.

Остановимся немного на вопросе об изменении форм рельефа в зависимости от вертикальных движений земной коры. Если суша на значительной площади поднимается в виде плоского вспучивания над уровнем моря, увеличение угла падения воды в реках немедленно влечет за собой новое врезание русла и образование террас, которые постепенно распространяются вверх по течению. По этому распространению террас можно до известной степени судить о времени или высоте этого поднятия. Недавнее, но сильное поднятие может отразиться только на нижнем или на нижнем и среднем течении рек, тогда как на верхнем и среднем или только

на верхнем могут еще сохраниться более старые формы предшествующего цикла эрозии.

Если поднятие ограничилось сравнительно узкой полосой в среднем течении рек, мы увидим в его пределах новые террасы, углубление русел, даже пороги, водопады, тогда как в нижнем течении произойдет чрезмерная аккумуляция новых отложений, засорение русел, дробление их на рукава, а в верхнем течении могут еще в той или иной степени сохраниться старые формы рельефа — если поднятие было недавнее.

Если поднятие ограничилось только местностью в верхнем течении рек, новый цикл эрозии, в зависимости от времени и высоты юного поднятия, может омолодить существующие формы вплоть до создания самых резких альпийских. И, конечно, чем у́же поднятый пояс и чем выше он поднялся, тем скорее на нем возникнут альпийские формы. Но нужно заметить, что альпийские формы выше снеговой линии по сравнению с формами ниже этой линии менее долговечны. Сильное морозное выветривание и развитие каров, разъедающих гребни, разрушают, понижают и округляют альпийские формы. Имея это в виду, приходится думать, что горные цепи, поднимающиеся выше снеговой линии и обладающие альпийскими формами, являются очень молодыми, созданными недавними вертикальными движениями.

Пульсационная теория геотектоники, которой я придерживаюсь, считает, что сильное и сложное складкообразование огромных толщ молодых осадочных отложений происходит в фазы сжатия земной коры в геосинклиналях в несколько приемов, с перерывами, но толщи, сдвинутые в складки, при сжатии не поднимаются над уровнем воды в геосинклинали или поднимаются очень незначительно, может быть, отдельными гребнями самых высоких складок. Превращение этого смятого в складки геосинклинального пояса в горную страну происходит в фазу расширения земной коры; этот пояс вспучивается и при этом неизбежно рассекается длинными и глубокими разломами (возникающими в той или другой степени уже во время образования и развития геосинклинали) на отдельные продольные (частью и поперечные) глыбы или клинья разной ширины и длины, которые выпучиваются, т. е. поднимаются на различную высоту. При этих движениях вверх происходят сбросы, взбросы и надвиги разного размера, вплоть до более или менее значительных шариажей (в исключительных случаях). При этих же движениях по трещинам разломов

поднимаются из глубин расплавленные массы, образующие интрузии, штоки, дайки и жилы в осадочных толщах, разбитых трещинами.

Защитники контракционной теории считают, что уже при самом сжатии земной коры складки осадочных толщ выжимаются из геосинклиналей и поднимаются над земной поверхностью в виде горных цепей. Хотя они и допускают при этом образование трещин и разломов, но расчленение и формирование горных цепей выводят, объясняя их процессами эрозии, из складок. Конечно, при преобразовании складок процессами эрозии в горную страну проходит гораздо больше времени, и, кроме того, сочетание форм рельефа должно быть иное, чем при преобразовании складчатого пояса, уже разбитого сбросами по разломам на длинные и сравнительно узкие глыбы, поднятые на различную высоту друг относительно друга. Плоскости сбросов, обычно круто падающие, представляют для работы эрозии более удобные и легкие площади, чем поверхности складок, а преобразование узкой глыбы, поднятой выше снеговой линии, в альпийский гребень, конечно, потребует гораздо меньше времени, чем возникновение такого гребня на седле самой высокой складки.

Можно представить себе, что горная страна, превращенная долговременной эрозией в почти-равнину, при новом поднятии в фазу расширения будет выпячиваться горбом или длинным сводом. Но едва ли можно предполагать, что такое выпячивание может произойти без разломов. Во-первых, в этой горной стране, когда она поднималась из геосинклинали в предшествующую фазу расширения, несомненно, уже были трещины разломов, которые легко могут возобновиться; во-вторых, при изгибе такой почти-равнины, состоящей из пород разного состава, в разных соотношениях друг с другом и в разных условиях залегания, в слоях, очень близких к земной поверхности, где нет пластичности горных пород, свойственной более значительным глубинам, неминуемо должны возникнуть новые разломы. Горб или сводовое поднятие будут расчленены на части преимущественно в продольном направлении; эти части могут быть подняты на различную высоту.

На основании этих соображений я и оспаривал мнение В. П. Нехорошева о том, что молодое поднятие Алтая, приведшее к образованию его современного рельефа, произошло в виде простого эпейрогенического вспучивания почти-равнины без разломов, и Нехорошев в конце концов согласился с этим [6]. И. Г. Гранэ в последнем труде о формах Алтая

также говорит, что «почти-равнина, образовавшаяся в течение мезозоя и третичного периода на месте складчатой палеозойской горной страны, была поднята и разбита на куски в постплиоцене и древнем плейстоцене (Präquartär) и Алтай превратился в глыбовую горную страну. Он состоит из большой, отчасти ограниченной сбросами и сравнительно быстро поднятой площади земной коры, над которой возвышаются несколько меньших и узких глыб, вытянутых главным образом по широте, и в поверхность которой врезаны оставшиеся на меньшей высоте впадины грабенов» [28, стр. 27].

Поучительным примером молодого сводового поднятия, сложенного из слоисто-кристаллических, метаморфических и изверженных горных пород архея и протерозоя, является вышеупомянутое Байкальское, в которое по разломам врезан целый ряд впадин-грабенов разной величины и глубины на всем протяжении. Такое же сводовое поднятие молодого возраста представляет Становой хребет, расчлененный по длине разломами на горсты и грабены, но более узкие и менее глубокие, чем в Байкальском поднятии. В этих двух примерах мы видим более сильное отставание некоторых глыб, а в Байкальском даже опускание их, особенно значительное во впадинах Байкала и Косогола. Это отличие от других примеров молодых поднятий можно объяснить тем, что Байкальское и Становое поднялись на очень древнем участке земной коры, сложенном из докембрийских пород с очень небольшим участием древнепалеозойских.

Проследим теперь по карте Сибири, начиная с запада, все известные уже примеры молодых поднятий, чтобы познакомиться с их особенностями.

Упомянем, что на Урале в последние годы также обнаружены несомненные признаки молодых поднятий, омолодивших эрозию и явившихся первопричиной выработки современного рельефа, который без этих мезо- и кайнозойских движений, конечно, представлял бы формы глубокой старости. Спустившись с Урала и миновав Тургайский пролив Зюсса с горизонтально залегающими отложениями палео- и неогена, мы встретим формы мелкосопочника бывшей Киргизской степи, теперь северной части Казахстана. Это формы вообще старческие, но местами среди них поднимаются более расчлененные, выделяющиеся на однообразии мелкосопочника, некоторые горные гряды и группы, как Кокчетавские, Баян-Аульские, Каркаралинские, Аркат и др. Они целиком или в

значительной степени состоят из массивного гранита, лучше сопротивляющегося денудации, чем осадочные породы, и потому выдаются над общим уровнем. Но не исключена возможность того, что они все-таки испытали и некоторое молодое поднятие, более значительное, чем то, которое в конце олигоцена освободило всю эту степь от морского покрытия.

К востоку от меридиана г. Семипалатинска, подвигаясь к р. Иртышу, легко заметить постепенное омоложение форм — более глубокие долины, более крутые склоны, характеризующие уже восточную часть Калбинского хребта, а южнее — цепи Тарбагатая, Манрака и Саура. Это результат молодых третичных и четвертичных поднятий в области Алтая на правом берегу р. Иртыша, которые распространились, постепенно ослабевая, на запад за Иртыш, менее далеко в Калбинском хребте, дальше и сильнее в Сауре, Манраке и Тарбагатае. А еще южнее, уже в пределах Средней Азии, мы увидим, что молодые поднятия глыбового типа распространились еще дальше на запад вплоть до р. Аму-Дарьи или даже до Каспийского моря и создали цепи Джунгарского Алатау и Тянь-шаня, часть которых превышает снеговую линию и имеет типичные альпийские формы. Это уже отмечено в моей последней маленькой статье о рельефе Казахстана [13].

К востоку от Иртыша поднимается горная страна Алтая, о которой уже сказано выше. Добавлю, что цепи с вечноснеговыми вершинами, как Катунские, Южно- и Северно-Чуйские Альпы, Южный Алтай, а также, вероятно, цепи более высоких белков, нужно считать отдельными глыбами, ограниченными разломами и поднятыми особенно высоко. Историю развития Алтая можно найти у В. П. Нехорошева [7, стр. 6].

К северу от Алтая расположены Салаир и Кузнецкий Алатау. Оба они являются древними складчатыми странами, позже пенепленированными и вновь поднятыми. А. Н. Чураков отметил, что весь Алатау разбит сбросами на отдельные клинья радиальными дислокациями, происшедшими после нижней юры, но задолго до четвертичной, так как современная гидрографическая сеть была заложена до оледенения и развивалась, не считаясь с линиями разломов. Поднятия продолжались и после образования этой сети, так как в некоторых долинах хорошо видны эпигенетические участки [26]. Салаир обращен к Кузнецкой котловине высоким, резко выраженным уступом Тырган в 100—200 м высоты. Этот уступ, может быть, создан не молодым поднятием Салаира, а так же,

как и характер гидрографической сети западного склона Кузнецкого Алатау, обусловлен опусканием котловины или же поднятием обоих хребтов и опусканием котловины совместно [11, стр. 959].

Небольшой хребет Арга на берегу Чулома имеет, по описанию А. А. Васильева, все признаки очень недавнего поднятия, омолодившего эрозию, которая еще не успела распространиться до верховий речек и рельефа внутри хребта, сложенного из протерозоя и нижнего палеозоя и выдвинутого по сбросам среди юрского угленосного бассейна [2].

Западный Саян в конце миоцена, по И. К. Баженову, представлял еще почти-равнину с останцами из наиболее устойчивых пород; затем произошло мощное поднятие в виде выпучивания, которое в осевой части достигло 2000 м (и более) высоты, по окраинам 700—950 м и, вероятно, сопровождалось разломами, разбившими почти-равнину на отдельные глыбы, поднятые на различную высоту. Но имеются признаки и более молодых доледниковых и межледниковых движений, объясняющих некоторые контрасты современного рельефа [1].

Восточный Саян, сложенный из докембрия и нижнего палеозоя, испытал первые дизъюнктивные дислокации еще до юры, отложения которой залегают в грабенах. Более сильные движения этого типа были связаны с Байкальским сводовым поднятием (третичного времени), в осевой части которого образовалась цепь впадин широтного направления от Байкала до ст. Монд, где эта ось резко поворачивает меридионально и на ней лежит впадина оз. Косогола.

Крылья поднятия рассечены разломами, параллельными оси; широтные разломы тянутся, от поворота оси на юг, еще далеко на запад через бассейны р. Оки и верховья р. Ини и проникают даже в пределы Тувинской АО, обусловливая широтное простирание горстов. Связанные с ними излияния базальтов на востоке перекрывали бо́льшую часть поверхности поднятия, на западе доходили до правобережья р. Уды, а на юге до оз. Косогола и верховий Ха-кема и Бей-кема в Туве и Монголии. Верхнетретичные и четвертичные поднятия по этим линиям разломов в восточной половине Восточного Саяна имели дифференциальный характер и привели к образованию альпийских цепей широтного и ЗСЗ направления. Южное крыло поднятия (Хамар-Дабан) имеет ступенчатый характер [14, стр. 18]. И. А. Молчанов ранее отмечал уже третичные поднятия и излияния базальта; поднятие приостановилось после минделя,

но затем возобновилось, судя по огромному переуглублению долин, в рисс-вюрмскую межледниковую эпоху; оно продолжалось и после вюрма, судя по глубокому врезанию речных долин в нижнем течении, местами на 170—200 м [5]. Эти самые молодые движения особенно резко выражены по обе стороны Тункинской долины. На левом склоне ее высятся Тункинские и Китойские Альпы; резкие зубчатые формы их обусловлены молодым поднятием узкой глыбы на относительную высоту до 1000 м по разлому. На правом склоне менее высоко поднимается Хамар-Дабан, округленные формы которого представляют такой резкий контраст с острыми формами Тункинских Альп, отмеченный уже первыми исследователями края. Хамар-Дабан после излияния третичных базальтов поднялся плоским сводом без разломов, судя по изгибу базальтовых покровов и по глубокой эрозии речных долин северного склона в среднем, но не в нижнем течении. Тункинские Альпы, наоборот, поднялись в виде горста, контрфорсы их южного склона срезаны почти отвесной стеной в несколько сот метров высоты, речные долины оказались висячими, речки скатываются каскадами по крутым конусам выноса [4].

Новые данные о Восточном Саяне и примыкающей к нему с юга Тувинской АО, собранные в последние годы С. В. Обручевым и только что печатаемые [15], согласуются с изложенным выше, содержат много указаний на молодые дифференциальные движения по разломам и соотношение самых молодых с оледенениями.

Байкальское сводовое поднятие с его разломами вдоль оси, по которым клинья земной коры опустились более или менее глубоко, обусловливая образование впадин, часть которых занята озерами, — упомянуто выше. Отметим наличие на его склонах излияний базальта не только в Восточном Саяне, Тункинских Альпах, Хамар-Дабане и на берегу оз. Косогола, но и в бассейне р. Джиды, где обнаружен хорошо сохранившийся четвертичный вулканчик, затем на Витимском плоскогорье, где, кроме обширного покрова лавы в бассейне р. Амалат, известны три хорошо сохранившихся четвертичных вулканчика с кратерами и потоками лавы, и еще далее на северо-восток в бассейне р. Калар — правого притока Витима. Цепи Северно-Муйского и Делюнуранского хребтов, принадлежащие к своду, имеют резкий альпийский рельеф и, очевидно, представляют высоко поднятые при молодых движениях узкие глыбы. Подобный же рельеф имеет и северная часть Приморского хребта на западном берегу

оз. Байкала, по описанию М. М. Тетяева [23] и Е. В. Павловского [17], очевидно также представлявшая узкую глыбу, поднятую выше общей поверхности свода. Очень расчлененный рельеф с резкими альпийскими формами отмечают исследователи и в районе верховий р. Калар, в высоком Каларском хребте, вершины которого достигают 2200—2900 м абс. высоты [18]. Все эти хребты Байкальского сводового поднятия в настоящее время не достигают снеговой линии, но очень близки к ней и местами несут многолетние снежники и вообще ясные следы последнего оледенения.

Излияния базальта в третичное и четвертичное время, развитые вдоль Байкальского сводового поднятия на всем протяжении (но с перерывами) от оз. Косогола на юге до Каларского хребта на севере, сопоставленные с разломами вдоль этого поднятия, вдоль которых наблюдаются самые глубокие известные нам опускания крупных клиньев земной коры в виде грабенов, особенно озер Косогола и Байкала, а также очень высокие поднятия других клиньев, приобревших во время оледенений альпийский рельеф,—несомненно свидетельствуют о силе дизъюнктивных дислокаций в этом длинном поясе земной коры и о том, что разломы в нем проникали вглубь до симатического слоя, из которого по трещинам поднимались на поверхность основные породы. Как известно, этот пояс отличается также сильными землетрясениями, указывающими на продолжающиеся до сих пор смещения масс горных пород в глубине, а новейшие нивелировки на берегах южной части Байкала, при сравнении их с данными более старых, показали, что в одних пунктах берег за последнее время поднялся, а в других опустился, т. е. слабые вертикальные движения все еще происходят.

Отметим еще, что в Байкальском своде подняты почти исключительно древнейшие породы — протерозойские и особенно архейские, к которым на склонах присоединяются кое-где кембрийские морские отложения и, местами, континентальные юрские, отлагавшиеся уже после начала вспучивания в некоторых первичных грабенах, а в виде исключения довольно высоко поднятые при позднейших движениях в составе современных горстов. Поднятия конца третичного периода доказываются нахождением покровов верхнемиоценового базальта высоко на поверхности Восточного Саяна и Хамар-Дабана, на остатках почти-равнины и на вершинах Тункинских и Китойских Альп. Последние видны на фотоснимках Ячевского,

приведенных уже в «Лике земли» Зюсса [30, стр. 88, 89] и изображающих вершины гольцов с горизонтальными слоями базальта на склонах долин р. Цаган-Хари и р. Оспы. Нельзя сомневаться в том, что базальт не изливался на вершинах гольцов и на поверхности современного нагорья, а образовал покровы в конце миоцена на почти-равнине, расположенной гораздо ниже. Он поднят на современную высоту позднейшими движениями и расчленен эрозией. При этих поднятиях могли быть случаи изгиба базальтового покрова или потока; такой случай обнаружен и описан В. В. Ламакиным [4] и, конечно, доказывает медленность некоторых дифференциальных движений.

В 1940 г. Е. А. Пресняков в статье о палеогеографических условиях происхождения Байкала рассмотрел историю геологического развития района этого озера, начиная с докембрия, пояснив ее 10 карточками. Он пришел к выводу, что тектоническая жизнь Прибайкалья не закончилась во время монголо-охотской складчатости и последующих меловых и третичных движений, а продолжалась позднее и происходит еще в настоящее время. Четвертичные и современные движения выражаются в следующем: 1) общее поднятие всего Прибайкалья; 2) продолжающееся опускание Байкальской и других котловин с накоплением мощных толщ четвертичных отложений; 3) перемещение береговой линии Байкала и другие признаки дифференциальных движений; 4) четвертичные лавы; 5) сейсмичность; 6) минеральные и термальные источники; 7) дислоцированность четвертичных отложений; 8) гравиметрические аномалии.

Интересны доводы Преснякова в отношении различного возраста северной и южной половин впадины Байкала. На восточном берегу южной половины озера сильно развиты третичные угленосные отложения, доказывающие, что в третичное время эта южная часть впадины уже существовала на известной высоте над уровнем моря (а при позднейших движениях часть ее опустилась гораздо глубже). Дельта р. Селенги значительно выдвинута в озеро и, повидимому, до глубины 1500 м состоит из четвертичных отложений, доказывающих медленное опускание. В северной половине (к северу от Ушканьих островов, между о-вом Ольхоном и мысом Св. Нос) ни третичных, ни мощных четвертичных отложений нет. Поэтому можно думать, что эта половина образовалась значительно позднее южной [20]. К этим указаниям добавим, что на западном берегу южной половины озера, южнее устья р. Голоустной, выступают среднеюр-

ские конгломераты и уходят вертикально стоящими пластами на большую глубину в воду. Судя по этому факту, южная половина или хотя бы часть ее вдоль западного берега являлась впадиной уже в юрское время и сообщалась в виде залива с Иркутским юрским озером.

Становой хребет также представляет сводовое поднятие с разломами вдоль оси, расчленившими его на горсты и грабены, как описано выше. От Байкальского это поднятие отличается меньшей длиной и шириной и меньшей амплитудой вертикальных движений — ни один из грабенов в этом поясе не опущен ниже уровня океана и ни один не вмещает большого озера.

В своем описании этого хребта [12] я предполагал, что к западу от р. Олекмы его продолжением являются долины верхнего течения р. Чары и р. Муи и окаймляющие их горсты вплоть до верховий р. Баргузина, где начинается структура Байкальского поднятия. Но нужно заметить, что Становой хребет обрывается на правом берегу р. Олекмы у устья р. Нюкжи — в 40—50 км к югу от того места, до которого можно было дотянуть вдоль верхнего течения р. Чары и через верховья р. Токко, по очень мало известной местности, пояс горстов Кодара и Удокана, Делюнуранского, Северно- и Южно-Муйского хребтов, которые я считал вероятным западным продолжением структуры Станового хребта. На берегах р. Олекмы получался, таким образом, довольно большой разрыв в этом поясе поднятий и разломов. Теперь, по новым, не опубликованным еще наблюдениям Е. В. Павловского на Алданском плато, оказывается, что продолжением и окончанием Байкальского сводового поднятия к востоку от р. Олекмы является очень плоский свод, названный Учурским сводовым поднятием, протягивающимся от р. Олекмы через р. Алдан в его верхнем меридиональном течении и далее на восток, в промежутке между р. Алданом в его среднем течении на севере и р. Кыным, левым притоком Учура, на юге. Это поднятие доходит до Учура и даже, повидимому, пересекается им, но далее на восток постепенно исчезает.

Следовательно, сводовое поднятие Станового хребта, расположенное на водоразделе между бассейном рек Алдана и Амура и протягивающееся по широте от р. Олекмы на западе до берега Охотского моря на востоке, является не продолжением Байкальского, а самостоятельным, более коротким и менее широким поднятием, расчлененным менее глубокими разломами. Его продолжение (и окончание?) на левом берегу р. Олекмы

еще не выяснено, и вообще геологическое строение известно недостаточно. На основании опубликованной и большей частью уже старой литературы можно сказать, что в состав Станового поднятия входят главным образом архейские и протерозойские образования, местами также молодые эффузивные породы (трахиты, липариты, базальты) и, на склонах, местами, юрские континентальные отложения, дислокация которых доказывает послеюрские поднятия по разломам, с которыми, очевидно, связаны и эффузивы. Повидимому, и Становое сводовое поднятие, подобно Байкальскому, принадлежит к самым молодым и связано с разломами и вертикальными движениями глыб. Оно отделяет древнюю Алданскую плиту от Восточного Забайкалья, Приамурья и Приморья, принадлежащих уже к молодому тихоокеанскому складчатому поясу.

К Байкальскому поднятию с востока примыкает Западное Забайкалье, в южной половине которого, Селенгинской Даурии, дизъюнктивные дислокации происходили в начале или середине юры, судя по нахождению верхнеюрско-нижнемеловых угленосных отложений уже в грабенах. Третичные и четвертичные движения в соседнем Байкальском сводовом поднятии должны были отражаться и на строении Западного Забайкалья, судя по излияниям базальта на Витимском плоскогорье (обширные покровы в бассейне р. Амалат) и в бассейне р. Джиды, по переслаиванью потоков базальта с конгломератами верхнеюрского или более молодого возраста на правом берегу р. Чикой близ д. Береговой, по жилам базальта, пересекающим в разных местах угленосные отложения. О самых молодых четвертичных движениях свидетельствуют хорошо сохранившиеся формы маленьких базальтовых вулканов с выходящими из них потоками лавы по верхнему течению р. Витима и по р. Джиде вблизи пос. Хамней.

В Восточном Забайкалье новые исследования выяснили молодые мезозойские складчатые движения тихоокеанского цикла, закончившиеся верхнеюрскими дизъюнктивными, создавшими грабены, в которых образовались верхнеюрско-нижнемеловые угленосные отложения. Более молодые меловые третичные и четвертичные поднятия, сопровождавшиеся излияниями основных и кислых пород, несомненно происходили, но недостаточно изучены.

Нужно упомянуть, что все Забайкалье славится обилием горячих и холодных минеральных источников, очевидно связанных с молодыми глубокими разломами.

В Амурском бассейне, Южном Приморье и на о-ве Сахалине молодые вертикальные движения, с частью которых связаны излияния базальта, известны давно. К тому, что сказано о них в моей статье о молодости рельефа Сибири [11, стр. 963—964], пока ничего значительного прибавить нельзя — новейшая печатная литература об этих областях чрезвычайно скудна.

О многочисленных признаках молодых поднятий по разломам на северо-востоке Сибири — в Верхоянско-Колымском крае, на Чукотском и Камчатском полуостровах — сказано достаточно в той же статье [11] и пока к ним нечего прибавить. Новейшие исследования подтвердили наличие молодых вертикальных движений, часто сопровождавшихся излияниями эффузивных пород, которые на Камчатке продолжаются и в настоящее время. В общем вся южная гористая полоса Сибири от Алтая до Амурского бассейна и примыкающая к ней на востоке более молодая складчатая зона громадного тихоокеанского пояса содержат несомненные доказательства неоднократных третичных и четвертичных, вплоть до послеледниковых, вертикальных движений глыбового типа по разломам земной коры.

Обширная Сибирская платформа, отличавшаяся вообще устойчивостью уже с начала кембрия, также испытывала в разное время то крупные и глубокие разломы, как в конце пермского периода и в начале триаса, сопровождавшиеся огромными излияниями основных пород типа сибирского траппа, то плавные поднятия или опускания больших площадей, как в начале юры, обусловившие образование обширного озера на юге, в котором отложились угленосные толщи, и вторжение моря в бассейне р. Вилюя на севере, превратившегося затем в озеро. Но и в третичное и четвертичное время движения платформы, включая острова Новосибирского архипелага, происходили, и признаки их также указаны в моей статье [11, стр. 967—970]. В это время образовался и тот обрыв, которым Байкальское и Патомско-Витимское нагорья поднимаются над поверхностью платформы и который достигает 300—400 м высоты. Этот обрыв, отмеченный многими исследователями, должен быть очень молодым — четвертичным, так как более древний был бы уже сглажен денудацией. В Ленском золотоносном районе новые исследования установили наличие нескольких уровней эрозии третичного и четвертичного возрастов, частью доледниковых, частью послеледниковых, доказывающих периодические

поднятия всего Патомско-Витимского нагорья, омолаживавшие эрозию и отчасти совпадавшие с оледенениями.

На Алданской древней плите, составляющей восточную часть Сибирской платформы, кроме самого молодого — Учурского поднятия, являющегося концом Байкальского, известны послеюрские разломы, по которым происходили перемещения глыб по вертикали на некоторое расстояние и проникали интрузивные и эффузивные породы, принесшие оруденение золотом.

Таким образом, на всем протяжении Сибири между низменностью запада и мелкосопочником Северного Казахстана, с одной стороны, и берегами Тихого океана — с другой, в третичное и четвертичное время периодически происходили вертикальные движения, в большей или меньшей степени омолаживавшие эрозию и обусловливавшие преобразование рельефа в современный. На устойчивой Сибирской платформе эти движения, повидимому, большей частью представляли плавные выгибы вверх (warping американцев) обширных площадей, отчасти только нарушаемые разломами и сбросами небольшой амплитуды.

На гористом юге, начиная от Алтая, и на всем, преимущественно гористом, востоке вертикальные движения выражались, во-первых, вспучиванием почти-равнин и мелкосопочников, остававшихся на месте более древних складчатых гор, в виде отдельных более или менее крупных горбов, как, например, на Алтае и в Саянах, или поднятием их в виде сравнительно узких, но длинных сводов, как Байкальское и Становое. Но все эти поднятия обязательно сопровождались большим или меньшим количеством разломов, разбивавших горбы и своды на отдельные части, поднимавшиеся на различную высоту, а в иных случаях даже более или менее глубоко опускавшиеся, как в Байкальском своде. Во-вторых, в тихоокеанском складчатом поясе, обнимающем Восточное Забайкалье с Амурским бассейном, Приморьем и весь северо-восток и выдвинутом из геосинклиналей сравнительно недавно, во время мезозойского (тихоокеанского) цикла складкообразования, и еще далеко не достигшем стадий мелкосопочника или почти-равнин, третичные движения выразились еще складчатостью в Сихотэ-Алине, на о-ве Сахалине и на Чукотском и Камчатском полуостровах, присоединившей новые горные цепи к мезозойским, а в последних — поднятиями отдельных глыб по разломам. Четвертичные же движения имели характер дифференциальных поднятий глыб по

разломам, за исключением некоторых более древних площадей, например, бассейна р. Зеи, сложенного из докембрия и нижнего палеозоя, а также северных прибрежных равнин с мало нарушенными мезокайнозойскими отложениями, которые могли подниматься, выгибаясь почти без разломов.

В противоположность всем этим поднятиям, в большей или меньшей степени омолодившим рельеф Сибири, необходимо упомянуть четвертичное опускание — почти на всем протяжении северного берега материка Азии — значительного пространства прежней суши, разбитого крупными разломами, обусловившими то, что рядом с затопленными площадями, как моря Карское, Восточно-Сибирское, море Лаптевых и другие, мы видим многочисленные мелкие и крупные острова — Новой земли, Северной земли, Новосибирского архипелага, Врангеля, сложенные из палеозойских, мезо- и кайнозойских отложений, в разной степени нарушенных и сопровождаемых изверженными породами. Кладбище мамонтов на о-ве Большом Ляховском доказывает, что это опускание заканчивалось (в этой части берега) уже в конце последней эпохи оледенения; этот остров был убежищем мамонтов, спасавшихся на нем при раздроблении и погружении суши. Позже берег от Таймырского п-ова на восток испытал небольшое поднятие, тогда как эстуарии Енисея и Оби указывают на малоподвижность Западно-Сибирской низменности. Отделение Азии от Америки опусканием суши на месте Берингова пролива также происходило в четвертичное время. Такова в общих чертах характеристика молодых движений, создавших современный рельеф Сибири.

Сделанный обзор позволяет утверждать, что молодые движения конца третичного и первой половины четвертичного периодов имели большое значение для формирования современного рельефа Сибири. Не будь этих движений, рельеф Сибири на обширном пространстве, за исключением тихоокеанского складчатого пояса, представлял бы формы старости и даже дряхлости. Почти-равнины с редкими останцами плоских увалов и куполов, сложенных из наиболее устойчивых пород, чередовались бы с мелкосопочниками типа, характерного для северной части Казахстана.

Эти движения имели большое значение и для развития в горных цепях юга и в тихоокеанском складчатом поясе оруденения некоторыми металлами, обусловленного интрузиями, связанными с разломами земной коры. Об этом оруденении, имеющем крупное практическое значение, нужно дать общее понятие.

Уже первые исследования советского периода в пределах Восточного Забайкалья обнаружили, что складчатые движения тихоокеанского цикла и верхнеюрской фазы сопровождались интрузиями лейкократовых гранитов. Правильнее было бы сказать, что эти интрузии имели место во время фазы расширения, следовавшей за фазой сжатия и поднявшей складчатые комплексы из геосинклинали; это происходило с образованием разломов, в трещины которых и проникала кислая магма. Интрузия сопровождалась внедрением многочисленных пегматитовых жил, секущих как самый гранит в его периферических частях, так и окружающие породы. Пегматиты и самый гранит подверглись позднейшей грейзенизации и оруденению оловянным камнем, вольфрамитом, молибденитом, местами (например, на Шерловой горе) с появлением топаза, берилла, аквамарина. Очень кислая магма этой интрузии, очевидно, была богата эманациями.

Первые исследователи сначала очень преувеличили размеры этой кислой интрузии в виде площадей, занятых молодыми гранитами, присоединив к последним и более древние герцинские и даже каледонские и связанное с ними давно известное оруденение железом, серебром, свинцом, цинком и золотом. Они же предположили, что область отличается чрезвычайным развитием шариажей, т. е. покровным перекрытием одних отложений другими, более древними, в виде налегающих друг на друга обширных чешуй, возникших из лежачих складок при альпийском орогенезисе. Но дальнейшие исследования опровергли присутствие шариажей, оказавшихся просто надвигами, и ограничили распространение молодых гранитов.

Новые исследования в Приморье и на северо-востоке — в бассейнах рек Яны, Индигирки, Колымы и на Чукотском п-ове — также обнаружили наличие молодых вертикальных дислокаций верхнеюрско-нижнемелового времени и связанных с ними интрузий и жил кислых гранитоидов с богатым оруденением. В обзоре тихоокеанского рудного пояса, охватывающего берега Тихого океана на всем их протяжении, в обеих Америках и в Азии, с Австралией, Новой Зеландией, промежуточными островами между Австралией и Индокитаем и островами вдоль восточного берега Азии, С. С. Смирнов отметил богатство пояса в отношении молодого мезокайнозойского оруденения разными металлами. Он показал также, что в этом поясе можно различать две зоны — внутреннюю,

ближайшую к океану, и внешнюю, окаймляющую первую в сторону суши. В пределы СССР пояс попадает своим бóльшим и наиболее широким отрезком, простирающимся на севере от Чукотского п-ова на востоке до нижнего течения р. Лены на западе, а на юге — от Приморья до Яблонового хребта и уходящим далее на юг в пределы Монголии и Маньчжурии. Оруденение связано с интрузией более кислых пород во внешней зоне, которая вообще характеризуется обилием месторождений олова, вольфрама, молибдена и других редких металлов, тогда как во внутренней зоне интрузии более основные и отличаются обилием меди, а также золота и серебра [21 и 22].

В южной, сибирской части этого пояса мы находим в Восточном Забайкалье многочисленные месторождения олова, вольфрама, молибдена, а рядом с ними давно известные месторождения серебра, свинца, цинка и золота. Восточнее, в Амурском бассейне, известны многочисленные месторождения золота, к которым позже присоединились открытые в Малом Хингане месторождения железа и олова. Еще восточнее, вдоль берега океана, давно известны месторождения золота, серебра, свинца и железа. В Ольгинско-Тетюхинском районе в последнее время обнаружено много олова рядом с серебром и свинцом. Четкого деления на внешнюю и внутреннюю зоны у С. С. Смирнова как будто нет, но нужно отметить, что некоторые месторождения, именно железа, и часть золотых и серебро-свинцовых связаны не с мезокайнозойскими интрузиями, а с более древними герцинскими и каледонскими, и их нужно выделить из списка. На северо-востоке мы видим в западной части, в Верхоянском хребте, месторождения серебра и свинца, а восточнее, в хребте Черского, — золота и олова; и здесь четкого деления на зоны нет, но нужно заметить, что область изучена еще недостаточно и содержит, несомненно, неизвестные пока месторождения других металлов.

Во всяком случае, в ожидании того, что четкое разделение месторождений тихоокеанского пояса в Сибири по возрасту интрузий будет со временем произведено и тогда выяснятся полностью особенности оруденения по зонам, мы можем ограничиться утверждением, что с молодыми вертикальными движениями связаны интрузии, принесшие очень богатое и разнообразное оруденение. Оно имеет наибольшее практическое значение ввиду того, что его месторождения, как наиболее молодые, сохранились еще от смыва эрозией, тогда как более старые уже в большей

или меньшей степени уничтожены. Кроме того, большое значение имеет разнообразие этого молодого оруденения и присутствие в его составе бóльшого количества редких металлов.

Но кроме тихоокеанского пояса мы уже констатировали большое участие молодых, даже третичных и четвертичных вертикальных движений и далее к западу, в пределах горных стран вдоль южной части Сибири, кончая Алтаем. Естественно поставить вопросы: связаны ли также с этими движениями интрузии и принесли ли последние в этой области оруденение и какое именно?

Точного ответа на эти вопросы дать пока нельзя. В этих горных странах давно уже известны различные рудные месторождения, к которым исследования советского периода прибавили много новых. Но в ряде случаев как для старых, так и для новых месторождений генетическая связь с определенными интрузиями еще точно не установлена и возраст последних также еще не вполне выяснен.

Так, в Западном Забайкалье известны имеющие большое значение месторождения молибдена на р. Чикой и вольфрама в бассейне р. Джиды; последнее связано с молодой интрузией, возраст которой считают доюрским; генезис же и возраст первого еще не выяснен. В Восточных и Западных Саянах пока известно не много месторождений — большей частью золота, несколько месторождений меди, железа, а также слюды и асбеста, но возраст точно не определен и генезис в ряде случаев не выяснен. В рудном Алтае давно известны богатые месторождения серебра, свинца, цинка, меди и золота, но возраст их герцинский; открытые же позже месторождения вольфрама и молибдена недостаточно изучены, но более вероятны их молодой возраст и связь с молодыми движениями, если судить по соседнему Калбинскому хребту на левом берегу р. Иртыша, на который распространились из Алтая молодые движения по разломам. Недавно открытые в этом хребте месторождения вольфрама, частью сопровождаемого оловом, несомненно связаны с молодыми движениями и интрузиями.

В рудном Алтае, Кузнецком Алатау и Салаире с молодыми поднятиями и сопровождавшими их, но оставшимися на глубине интрузиями связаны месторождения ртути, как показал В. А. Кузнецов в ряде статей и монографии, увенчанной Академией Наук СССР премией. В качестве полезных ископаемых, связанных с молодыми движениями,

упомянем также холодные и горячие минеральные источники Алтая, Прибайкалья и Забайкалья, а на северо-востоке — обильные подмерзлотные пресные источники в бассейне р. Индигирки, создающие зимой гигантские наледи на дне долин.

Таким образом, молодые движения, поднятия глыб по разломам, которые мы проследили в Сибири от Алтая до берегов Тихого океана, не только играют первостепенную роль в формировании современного рельефа, но имеют и большое практическое значение для горной промышленности ввиду того, что с ними связаны интрузии изверженных пород, которые принесли с собой богатое и разнообразное оруденение, особенно более редкими металлами. Поэтому при дальнейших геологических исследованиях, в настоящее время почти всегда связанных с поисками месторождений полезных ископаемых, необходимо более внимательно изучать структуры районов в отношении признаков молодых глыбовых движений и связанных с последними интрузий разного рода, принесших то или другое оруденение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И. К. Баженов.* Западный Саян. Очерки по геологии Сибири. 1934.
2. *А. А. Васильев.* Геологическое строение хр. Арга. Изв. Зап.-Сиб. отд. Геол. к-та, 1928, вып. 1.
3. *П. Н. Кропоткин* и *Е. М. Шаталов.* Очерки геологии северо-востока СССР. Мат по изуч. Ох.-Кол. края, серия 1, 1936, в. 3, стр. 1—148.
4. *В. В. Ламакин.* Прошлое рельефообразование в Тункинском Прибайкалье. Землеведение, т. 37, 1935, вып. 1.
5. *И. А. Молчанов.* Восточный Саян. Очерки по геологии Сибири. 1934.
6. *В. П. Нехорошев.* Основные этапы в изучении тектоники Алтая. Сборн. к 50-летию научной деятельности В. А. Обручева, т. 1, 1938, стр. 309—324.
7. *В. П. Нехорошев.* Материалы для геологии Горного Алтая. Тр. ВГРО, вып. 177, 1932, стр. 97—99.
8. *В. А. Обручев.* Орографический и геологический очерк Юго-Западного Забайкалья. Геол. иссл. и разв. раб. Сиб. ж. д., вып. XXII, ч. 1, 1914.
9. *В. А. Обручев.* Алтайские этюды. II. О тектонике Русского Алтая. Землеведение, 1915, кн. 3, стр. 1—71.
10. *В. А. Обручев.* Юные движения на древнем темени Азии. Природа, 1922, № 8—9, стр. 37—46.
11. *В. А. Обручев.* Молодость рельефа Сибири. Сборник к 50-летию научной и педагогической деятельности В. И. Вернадского, II, 1936, стр. 955—973.

12. *В. А. Обручев.* Хребты Яблоновый и Становой по новым данным. За индустр. Сов. Вост., 1933, сб. 2, стр. 5—32 с картой.
13. *В. А. Обручев.* Особенности рельефа Казахстана и возможное объяснение их. Тр. 1-й сессии Академии Наук Казахской ССР. Алма-Ата, 1946, стр. 131—136.
14. *С. В. Обручев.* Основные черты тектоники и стратиграфии Восточного Саяна. Изв. АН, сер. геол., 1942, № 5.
15. *С. В. Обручев.* Развитие рельефа Восточного Саяна. Труды Ин-та географии, вып. 37, 1946, стр. 115—123.
16. *С. В. Обручев.* Очерк тектоники северо-восточной Азии. Сборник к 50-летию научной и педагогической деятельности В. А. Обручева, I, 1938, стр. 255—304.
17. *Е. В. Павловский.* Четвертичное оледенение северо-западного Прибайкалья. Бюлл. Моск. об-ва исп. прир., Отд. геол., XIII, 1935, № 2, стр. 232—239.
18. *Е. В. Павловский* и *А. И. Цветков.* Южная окраина Олекмо-Витимского нагорья. Тр. Геол. ин-та АН СССР, IV, 1934, стр. 13—65.
19. *Е. В. Павловский.* Впадина озера Байкала. Изв. АН СССР, Отд. мат. и ест. наук, серия геол., 1937, № 2, стр. 351—375.
20. *Е. А. Преснякoв.* Палеогеографические условия происхождения Байкала. Тр. Байк. лимнол. ст., X, 1940, стр. 369—397.
21. *С. С. Смирнов.* О тихоокеанском рудном поясе. Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 1, стр. 13—27.
22. *С. С. Смирнов.* Тихоокеанский рудный пояс в пределах СССР. Природа, 1946, № 2, стр. 52—60.
23. *М. М. Тетяев.* Северо-западное Прибайкалье. Область с. Горемыки. Тр. Геол. к-та, Нов. серия, вып. 126, 1916.
24. *И. Д. Черский.* К геологии внутренней Азии. Тр. Об-ва ест. СПб. ун-та, XVII, 1886, вып. 2, стр. 51—58.
25. *И. Д. Черский.* О результатах исследования озера Байкала. Зап. Русск. геогр. об-ва по общ. геогр., XV, 1886, № 3.
26. *А. Н. Чураков.* Кузнецкий Алатау. Очерки по геологии Сибири. 1932, стр. 65—70.
27. *I. G. Granö.* Les formes du relief de l'Altaï russe et leur genèse. Fennia, 40, 1917, № 2.
28. *I. G. Granö.* Das Formengebäude des Nordöstlichen Altaï. Publ. Inst. Geogr. Univ. Turkuensis, № 20. Turku, 1945.
29. *H. Hausen.* Outlines of the physiogryphical development of the northern part of the Sino-Siberian continental area. Congr. géol. intern. C. R., XIII session, 2 fassc., 1111—1125. Liège, 1925.
30. *Ed. Suess.* Das Antlitz der Erde. Bd. III—1. Wien, 1901.

Доктор геолого-минералогических наук
А. А. Сауков

РАБОТЫ А. Е. ФЕРСМАНА ПО ГЕОХИМИИ



Геохимия как наука о законах распространения и перемещения атомов на нашей планете оформилась в самостоятельную дисциплину совсем недавно: она по праву считается наукой XX столетия. И это не случайно: лишь на основе огромного фактического материала, накопленного за предыдущие столетия химией, минералогией, петрографией, учением о минеральных месторождениях и другими науками, лишь на основе блестящих достижений последних десятилетий в области учения об атоме выяснилась необходимость и появилась возможность сформулировать задачи геохимии и ее содержание.

Среди творцов и основоположников геохимии виднейшее место заняли наши выдающиеся советские ученые, недавно сошедшие в могилу, академики В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман.

Сорокалетняя дружба, основанная на взаимном уважении и общности научных идей, связывала А. Е. Ферсмана с его знаменитым учителем В. И. Вернадским, у которого он почерпнул впервые, еще в бытность студентом Московского университета (в 1904—1907 гг.), интерес к геохимии и первые геохимические познания.

А. Е. Ферсман с присущей ему страстностью увлекся новыми, только что зарождавшимися геохимическими идеями и, будучи от природы исключительно одаренным и отличаясь необычайной работоспособностью,

в скором времени выдвинулся в ряды ведущих, мировых ученых, с именами которых связаны как постановка, так и разрешение основных, узловых проблем геохимии.

☆

А. Е. Ферсман оставил после себя громадное литературное наследство: еще при жизни список его напечатанных научных работ превышал 700 названий и включал ряд больших монографий.

Значительное число крупных работ он не успел напечатать, хотя в значительной мере подготовил их; издание этих работ будет осуществляться в ближайшие годы.

Он был, наряду с В. И. Вернадским, не только крупнейшим нашим геохимиком, но и выдающимся минералогом, причем его глубокие минералогические исследования послужили основой для его геохимических построений; поэтому, анализируя отдельные его работы и рассматривая совокупность всей его научной деятельности, трудно, а подчас и совершенно невозможно, отделить Ферсмана-геохимика от Ферсмана-минералога.

Нет почти ни одной области современной геохимии, в которой бы не работал А. Е. Ферсман и в которой он не оставил бы глубокого следа. Чтобы осветить полностью его роль в геохимии, чтобы разобрать лишь его важнейшие произведения по геохимии, понадобилась бы целая книга. В рамках же настоящей статьи можно только коснуться важнейших его работ и лишь очень кратко перечислить его основные геохимические достижения. Наиболее известной и обширной работой А. Е. Ферсмана является четырехтомная «Геохимия», в которой в значительной мере обобщены его предыдущие многочисленные наблюдения и выводы и сделана попытка «свести воедино по возможности все главы и все течения этой науки».[1]

Знакомясь с геохимическими работами А. Е. Ферсмана, в том числе с его «Геохимией», поражаешься разносторонности его интересов и глубине познаний в самых разнообразных областях естественных наук, в том числе — помимо минералогии и геохимии — в химии, физике, геологии, учении о минеральных месторождениях, почвоведении, техно-

[1] А. Е. Ферсман. Геохимия, т. I, изд. 2, 1934, стр. 5.



логии, астрономии и т. д. Эта многогранность интересов, широта постановки вопросов и уменье ориентироваться в сопредельных с геохимией дисциплинах, что было характерно для А. Е. Ферсмана, явились теми необходимыми условиями, которые позволили ему действительно быть творцом новой науки, формулировать ее задачи и находить правильные пути для их разрешения.

Задачи геохимии сформулированы были А. Е. Ферсманом следующим образом: «Геохимия изучает историю химических элементов — атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических и физико-химических условиях природы». Из этой формулировки вытекает широта задач геохимии, стремящейся изучить и объяснить всю историю атомов и все формы нахождения их на земле, т. е. синтезировать факты и выводы, делающиеся отдельными естественными науками, каждая из которых касается поведения атомов лишь в той или иной природной или искусственно созданной обстановке, определенной рамками этой науки. Отсюда вытекает особая роль геохимии как синтезирующей, обобщающей науки, что постоянно подчеркивал А. Е. Ферсман и в своих статьях, и в книгах, и в многочисленных, всегда таких ярких публичных выступлениях.

Первой и важнейшей задачей геохимии является учение о распространении химических элементов в земной коре и, по возможности, в других ее более глубоких геосферах. Этой проблеме А. Е. Ферсман придавал большое теоретическое и практическое значение и много работал для ее разрешения. В самом деле, легко показать, что частота того или иного элемента, т. е. среднее процентное содержание его в земной коре, является одним из важнейших факторов, определяющих его ценность, поскольку на поиски и добычу тонны малораспространенного элемента в общем, как правило, затрачивается гораздо больше труда, чем на получение того же количества более распространенного элемента. Это объясняется тем, что наиболее распространенные элементы обыкновенно дают крупные месторождения с высокой концентрацией полезного ископаемого, в то время как элементы мало распространенные дают или сравнительно небольшие и бедные месторождения, или даже вообще не дают месторождений в обычном понимании этого слова. Имеются, конечно, исключения из этого правила, объясняемые некоторыми особенностями в свойствах атомов, определяющими склонность их к концентрации или рассеянию,

однако эти исключения не многочисленны, и статистически общее правило сохраняется. Поэтому, например, широко распространенные черные металлы (железо, марганец) значительно дешевле, чем так называемые редкие элементы (олово, вольфрам, радий и др.).

Частота элементов определяет, с другой стороны, многие важные особенности в поведении их на земле, в том числе, например, способность давать то или иное количество минералов, выпадать в той или иной последовательности из растворов и расплавов и т. д.

Чем выше частота элемента в земной коре, тем больше, как правило, число минералов, образуемых им, и тем раньше минералы данного элемента выпадают из растворов или расплавов. В крайних случаях, при особенно малой частоте элемента, он вообще не может образовать самостоятельных минералов и в этом случае он или захватывается кристаллическими решетками других, более распространенных элементов, образуя изоморфные примеси к ним (например, гафний, рений, скандий и др.), или присутствует в форме не совсем пока ясных «микрокосмических примесей».

Отсюда вполне понятен большой интерес к проблеме частот элементов на земле, которая является поэтому и исторически, и логически первой задачей геохимии. Проблема частот элементов очень сложна, так как предполагает предварительное накопление большого аналитического материала, в том числе для элементов, содержания которых в земной коре измеряются миллионными и даже миллиардными долями процента, что представляет большие аналитические трудности. Поэтому вполне естественно, что, хотя эта проблема поставлена была впервые 130 лет назад (английским ученым Филлипсом) и ею занимались многие выдающиеся ученые прошлого и настоящего столетия, она получила достаточно удовлетворительное разрешение лишь в последние 20—30 лет, причем в этом разрешении большую роль сыграл А. Е. Ферсман.

На основе таблиц частот элементов, составленных разными авторами, и с учетом громадного фактического материала, накопившегося за последние годы, А. Е. Ферсман неоднократно давал свои таблицы, которыми широко пользуются наши ученые.

Но он не только дал таблицы частот элементов (кларки элементов, как назвал он их в честь американского ученого Кларка, много сделавшего в этой области); большое внимание он уделил также анализу проб-

лемы кларков в целом, объяснению причин различного содержания элементов как на земле вообще, так и в отдельных ее геосферах в частности.

Он предложил выражать величины кларков не только в весовых процентах, как делалось ранее, но также в атомных, совершенно правильно доказывая, что как в химических реакциях удобнее оперировать с граммолекулами, и грамматомами, так и в данном случае выводы получаются более убедительными, если брать не весовые отношения элементов, а отношения чисел их атомов.

Для наглядного сравнения кларков элементов А. Е. Ферсман применил метод логарифмических кривых, позволивший весьма удобно вывести целый ряд закономерностей, в том числе связь кларка с положением элемента в периодической системе Менделеева, зависимость от типа атома и т. д. Большое внимание он уделил также вопросу о причинах избыточности и дефицитности элементов в космосе вообще и в земной коре в частности, убедительно показав, что кларки элементов космоса теснейшим образом связаны с устойчивостью ядер их атомов, а кларки земной коры, помимо этого, отражают на себе результаты дифференциации элементов при образовании нашей планеты и отдельных ее геосфер.

А. Е. Ферсман развил идеи Оддо и Гаркинса о связи кларков элементов с типами их атомов и показал, к каким результатам приводят эти выводы в случае реальных геохимических систем. Так, например, им убедительно показано было преобладание элементов типа 4 *q*, т. е. таких, атомные веса которых делятся на 4, для первичной кристаллизации магм с образованием основных и ультраосновных пород; доказано было также уменьшение роли атомов указанного типа в процессе последовательной дифференциации — по направлению к пегматитовому процессу и т. д.

Он находил, что повышенные кларки тех или иных элементов для данной территории являются одним из важнейших условий концентрации этих элементов в соответствующих месторождениях; поэтому за проблемой кларков он признавал помимо теоретического и большое практическое значение.

А. Е. Ферсман считал, что при изучении геохимии отдельных территорий или отдельных геологических комплексов последним и наиболее важным результатом исследования должно явиться определение кларков данного элемента на этой территории или в этом комплексе. При этом должны быть установлены не только средние кларки, но и так называемые

кларки концентрации, под которыми подразумевается отношение между кларками данной территории или комплекса и его средним значением по таблице кларков. Например, для керченских руд кларк концентрации железа — 9.8, для марганца — 17, мышьяка — 200, фосфора — 5 и т. д. Одновременно, наряду с обогащением месторождения указанными и некоторыми другими элементами (кобальт, ванадий, сера), имеет место, естественно, обеднение его рядом других элементов, в том числе алюминием, кальцием, кремнием и натрием. Кларки концентрации дают весьма ценный фактический материал для объяснения процессов миграции элементов, в том числе для объяснения генезиса месторождений, что имеет очень важное и теоретическое и практическое значение, позволяя рационально направлять поисковые, разведочные и эксплоатационные работы. Последовательность образования минералов зависит, как показал А. Е. Ферсман, от целого ряда причин; одной из важнейших среди них является кларк элемента. Поэтому величина кларка входит в формулу введенного А. Е. Ферсманом парагена, т. е. функции, определяющей время образования данного минерала в природном процессе: чем выше кларк элемента, тем раньше, при прочих равных условиях, образуется минерал.

Много внимания уделил А. Е. Ферсман и другой важнейшей проблеме геохимии — учению о миграции химических элементов. В своих фундаментальных работах, особенно в «Геохимии», он собрал колоссальный фактический материал по этому вопросу, обобщил его, наметил ряд весьма важных закономерностей и объяснил их, исходя из свойств мигрирующих атомов. Можно смело сказать, что А. Е. Ферсман первый среди ученых так углубленно и широко разработал проблему миграции элементов и первый детально проанализировал многообразные случаи перемещения атомов в самых различных физико-химических условиях их существования на земле. Он показал зависимость миграции атомов от внешних факторов, связанных с термодинамической обстановкой среды, и от внутренних — зависящих от свойств самих атомов.

Особого интереса заслуживает разработанная им геоэнергетическая теория (теория парагена). Обоснованию этой теории А. Е. Ферсман посвятил ряд работ, в том числе 3-й том «Геохимии». Сущность геоэнергетической теории заключается в следующем. Миграция атомов, как сказано было выше, зависит и от внешних причин, не связанных со свойствами атомов, и от внутренних — определяемых его свойствами. Среди послед-

них большую роль играют размеры атомов или ионов (их радиусы), а также их валентности. На роль размеров атомов и ионов при миграции элементов ученые раньше, за исключением разве В. М. Гольдшмидта, мало обращали внимания. А. Е. Ферсман, подчеркнув большое значение радиусов ионов, доказал вместе с тем, при объяснении поведения элементов, важную роль электрических зарядов ионов, их валентности, и пришел, таким образом, к энергетическим выводам.

Образование минералов в природе чаще всего происходит при кристаллизации их из растворов или расплавов в результате понижения температуры системы.

Естественные процессы, как известно, идут в направлении роста энтропии. А. Е. Ферсман допустил, что мерой роста энтропии для диссоциированных систем в первом приближении может быть принята энергия кристаллической решетки образующихся минералов, и сформулировал следующее основное положение геоэнергетической теории: «Последовательность кристаллизации из диссоциированных дисперсных систем следует порядку понижения энергии решеток и может быть названа нами законом роста энтропии по убывающим уровням». Таким образом, для решения весьма важного вопроса о последовательности кристаллизации минералов из расплавов и растворов необходимо знать энергии кристаллических решеток этих минералов. Существующие методы вычисления энергии решеток или слишком громоздки (по круговому процессу Борна-Габера), или ограничены лишь бинарными соединениями (теоретические формулы Борна и Капустинского). Придавая особое значение вычислению энергии решеток и не довольствуясь указанными методами, А. Е. Ферсман предложил свой приближенный универсальный метод вычисления, введя понятие энергетических коэффициентов, т. е. паев энергии, вносимых каждым ионом в кристаллическую решетку. Для каждого простого и комплексного иона, участвующего в строении минералов, А. Е. Ферсман вычислил различными, обоснованными им методами значения энергетических коэффициентов и дал исключительно простой способ расчета энергии решеток, исходя из энергетических коэффициентов ионов, составляющих данную решетку. Эта энергия получается аудитивно, т. е. путем сложения энергетических коэффициентов ионов, подобно тому как молекулярный вес соединения получается сложением атомных весов входящих в него элементов. Таким путем А. Е. Ферсману удалось вычислить

энергии кристаллических решеток многих наиболее важных природных минералов с точностью, в большинстве случаев вполне достаточной для геохимических выводов, и применить полученные им величины для объяснения с единой энергетической точки зрения многочисленных и разнообразных по своему характеру природных процессов дифференциации вещества. Так, им разобраны были процессы кристаллизации магматических расплавов с образованием различных горных пород, вопросы происхождения гранитных пегматитов и рудных сульфидных жил. Оказалось, что в принципе, в общих чертах, сформулированная им связь последовательности кристаллизации с энергией кристаллических решеток действительно осуществляется, однако имеются и многие частные отступления от этой простой закономерности.

Анализу причин этих отступлений А. Е. Ферсман уделил также большое внимание, показав, что эти причины могут быть различными. Таковы, например, влияние концентрации вещества, связанной с кларком элемента, состояние элементов в растворе (простые или комплексные ионы, молекулы) и т. д. Чтобы учесть эти трудности, А. Е. Ферсман ввел понятие парагена, т. е. функции, которая определяет место данного минерала в парагенетической последовательности других минералов. Парагены соединений получаются по предложенной им формуле из парагенов, входящих в соединения ионов. Парагены ионов зависят в первую очередь, как следует из геоэнергетической теории, от энергетических коэффициентов; они пропорциональны им. Но парагены зависят и от ряда других более или менее важных факторов, характеризующих данную систему (концентрация, характер растворов или расплавов, тип образующихся из них кристаллических решеток и т. д.), причем на данной стадии наших научных представлений эта зависимость не может быть пока выражена строго математически, и поэтому задача теоретического вычисления парагена является делом будущего. Вследствие этого А. Е. Ферсман для своих построений воспользовался так называемыми эмпирическими парагенами, полученными на основе анализа природных процессов, т. е. исходя из наблюдающихся парагенетических рядов минералов. Таким путем ему удалось получить приближенные значения для парагенов ионов, исходя из которых он вычислил парагены соединений для различных природных замкнутых систем и, таким образом, мог теоретически наметить вероятную последовательность кристаллизации минералов для этих

систем. Сопоставляя полученную последовательность кристаллизации с той, которая наблюдается в природе, А. Е. Ферсман мог показать, что в схеме для большинства разобранных им примеров этот метод дает очень много, обобщая и объясняя большое количество разрозненных и ранее не объясненных фактов.

Интересно отметить, что в большинстве случаев полученные А. Е. Ферсманом эмпирические парагены ионов пропорциональны их энергетическим коэффициентам, что лишний раз подтверждает правильность энергетического подхода при анализе сложных природных процессов минералообразования.

Геоэнергетическая теория с новой точки зрения трактует последовательность кристаллизации минералов из расплавов и растворов, естественные ассоциации элементов и минералов, в том числе в месторождениях полезных ископаемых; она объясняет закономерность распределения элементов вокруг охлаждающихся магматических очагов и более широко по геосферам и т. д.

В этом большое значение указанной теории для ряда наук — в первую очередь для геохимии, минералогии, петрографии и изучения рудных месторождений. Эта теория по-новому ставит и в первом приближении правильно разрешает некоторые важнейшие проблемы в области указанных наук; она дает направление для будущих научных исканий, которые должны углубить, расширить и конкретизировать ее.

Под углом зрения геоэнергетической теории А. Е. Ферсман подробно рассмотрел важнейшие процессы минералообразования: протокристаллизацию, пегматитовый и гидрохалькофильный процессы. Он дал атомную характеристику элементов, типичных для каждого из этих процессов; показал влияние валентности, радиусов ионов и энергии решеток на поведение элементов в процессах минералообразования; составил схему последовательности кристаллизации и осветил ряд других вопросов, касающихся тех или иных сторон геохимии процесса. Никто до него не только не давал подобного геохимического анализа природных процессов, но даже и не ставил перед собой подобной задачи так широко, как это сделал А. Е. Ферсман.

Особое, исключительное значение имеет в этом отношении большая его монография «Пегматиты», выдержавшая 3 издания и широко известная. Изучением пегматитов А. Е. Ферсман занимался очень долго, свыше

30 лет, и за это время собрал поистине колоссальный фактический материал, изучив лично пегматитовые поля многих районов Советского Союза и зарубежных стран и использовав громадную литературу, превышающую тысячу названий. В монографии дается детальный анализ элементов пегматитовых жил, выясняется их тип с точки зрения строения ядра их атомов и электронных оболочек, проводится геоэнергетический анализ пегматитового процесса и объясняются особенности в ходе последовательности выпадения минералов.

В отличие от первичной кристаллизации, при которой образуются основные породы и где господствующую роль играют элементы с четными порядковыми номерами и атомными весами, кратными четырем, в пегматитовых жилах, как доказал А. Е. Ферсман, значительную роль играют также элементы нечетные, с другими типами атомов и нечетными валентностями.

Детально проанализировав геохимические и структурные особенности пегматитов и рассмотрев различные существующие системы классификации их, А. Е. Ферсман дал свою оригинальную, естественную их классификацию, основанную на относительном значении отдельных геофаз «как парагенетических групп минералов, отвечающих определенным термодинамическим условиям и энергетическим уровням». Эта классификация, разработанная им 15 лет назад, сейчас широко и с большим успехом применяется.

Последовательно, во всех своих геохимических работах, А. Е. Ферсман, как уже сказано, проводил основную мысль — о связи распространения и поведения элементов на земле с их свойствами. Поэтому он постоянно отводил особую роль, как одному из методов геохимии, анализу периодической системы Менделеева. Пользуясь таблицей Менделеева, А. Е. Ферсман дал геохимическую классификацию элементов, доказав, что естественные ассоциации элементов основных и средних магм занимают верхнее поле развернутой таблицы, элементы пегматитов — нижнее левое, а сульфидных жил — нижнее правое поле. К помощи периодической системы он прибегал и в ряде других случаев: так, например, условно обозначая относительную частоту тех или иных элементов для различных территорий или различных геохимических процессов и сопоставляя полученные таблицы одну с другой, он наглядно показал геохимические различия территорий или процессов и сделал соответствующие

выводы как теоретического характера, так и практического значения, важные для направления поисковых работ.

А. Е. Ферсман был не только выдающимся теоретиком, но и крупным практическим деятелем в области выявления и освоения полезных ископаемых. Свои глубокие теоретические исследования он умело сочетал с практическими задачами и дал многочисленные прекрасные образцы применения теории к практике.

Одним из таких образцов может служить упоминавшаяся выше его монография «Пегматиты», в которой, наряду с самыми разнообразными, глубокими, чисто теоретическими вопросами, на их основе делаются чисто практические заключения о поисках, разведке, оценке и эксплоатации пегматитовых жил и о комплексном использовании их полезных ископаемых. А. Е. Ферсман показал, что тип пегматита, т. е. номер по его классификации, определяет расстояние жилы от магматического очага, что является важным указанием для поисков новых пегматитовых жил определенных типов. Точно так же им доказано было, что существует связь между глубиной образования пегматита и его типом; эта закономерность указывает на постепенность изменения состава жил при углублении горных выработок, что имеет большое значение для оценки перспектив пегматитов. Важные практические следствия вытекают также из анализа парагенетических групп элементов: например, нахождение олова в пегматитовой жиле говорит о возможности одновременного нахождения ниобия и тантала; находки цезия заставляют предполагать наличие литиевых минералов и т. д.

Вторым ярким примером приложения теории к практике может служить одна из его последних монографий — «Полезные ископаемые Кольского полуострова. Современное состояние, анализ, прогноз», вышедшая из печати в 1941 г. и удостоенная Сталинской премии I степени. Эта книга подводит итоги многолетним его, а также его сотрудников, исследованиям на Кольском полуострове.

В книге дается глубокий геохимический анализ минеральных комплексов, обнаруженных на территории Кольского полуострова, в значительной части весьма своеобразных и обычно не повторимых в других местах. Пользуясь достижениями современной геохимии, творцом которой в значительной мере был сам А. Е. Ферсман, он детально изучил все известные ассоциации элементов и все важнейшие процессы и дал стройную схему

их, начиная от самых высокотемпературных и кончая холодными, гипергенными фазами.

Им подвергнуты были детальному изучению щелочной комплекс Хибинских и Ловозерских тундр с их грандиозными запасами фосфора, титана, ниобия, циркония, редких земель и других элементов, а также комплекс ультраосновных пород Мончетундры с их богатейшими скоплениями меди и никеля и дана их сравнительная характеристика, показывающая глубокие геохимические различия обоих комплексов. «Эти различия настолько характерны, — писал А. Е. Ферсман, — что трудно говорить о случайности этого явления. Скорее можно предполагать общность некоторого корня как процесс дифференциации единой магмы, а самые комплексы — как взаимодополняющие части одного глубинного целого». Отсюда вытекает тот вывод глубокого теоретического и важного практического значения, что образование крупных скоплений одних химических элементов естественно ведет к предположению об одновременном накоплении других элементов в других частях Кольского полуострова. Исходя из этого принципа, А. Е. Ферсман построил прогнозы для поисков элементов, являющихся дефицитными в известных сейчас месторождениях Кольского полуострова.

Необходимо отметить, что указанные выше выводы имеют более широкое значение, выходящее за рамки лишь Кольского полуострова: они применимы, вероятно, и для других широких территорий.

В указанной книге А. Е. Ферсман дает также анализ минерального сырья Кольского полуострова, освещая специфические особенности его, размеры запасов и экономические условия, объективно разбирая как положительные, так и отрицательные стороны комплексов минерального сырья, не оставляя без внимания вопросов энергетики, транспорта, климата и т. д. Он не только дал анализ существующей сырьевой базы, но и указал пути ее дальнейшего развития, опираясь на свой двадцатилетний опыт изучения Кольского полуострова и широкие теоретические построения.

Итогом богатейшего опыта и всесторонне разработанной теории являются слова А. Е. Ферсмана: «Я глубоко убежден, что вся поисковая работа в неведомых и девственных областях должна перестраиваться вообще по новому основному принципу: найти можно только то, что ищешь, а искать нужно в данном районе только то, что при данном сочетании геологических и физико-химических условий может и должно в данном

районе находиться. Только такой прогноз, который толкает мысль в определенном направлении, который заостряет глаз на поиски определенного объекта, а не вообще «чего-нибудь полезного», приводит к реальным результатам».

Отсюда вытекает особая важность для поисков месторождений анализа геохимических возможностей данной территории, основанного на законах распределения вещества и на выводах физической химии, делаемых с учетом геологической истории всего района.

Вопросам поисков полезных ископаемых А. Е. Ферсман придавал всегда, особенно в последние годы своей жизни, очень большое значение, постоянно подчеркивая, что они должны вестись на широкой научной геохимической основе. Особенно полное выражение эти мысли нашли в книге «Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых», вышедшей в 1940 г. и являющейся итогом тех многочисленных практических наблюдений, которые сделаны были автором за 30 лет полевой работы в разных районах нашей страны, особенно же на Кольском полуострове, в Средней Азии и на Урале.

Книга состоит из восьми глав. В первых четырех приводятся общие принципы геохимической и минералогической методики, обосновываются основные факторы образования месторождений, концентрации и рассеяния вещества, поисковые признаки и т. д.

В пятой главе даются теоретические обоснования и практические указания для поисков полезных ископаемых в районах развития магматических, метаморфических, эффузивных и осадочных пород, и отдельно — в областях, тектонически нарушенных.

В главах шестой и седьмой для каждого полезного элемента и для ряда ценных минералов намечаются поисковые критерии, которыми необходимо руководствоваться при работе в той или иной геологической обстановке. И, наконец, в последней восьмой главе даются некоторые чисто практические советы для проспектора, работающего над поисками полезных ископаемых.

Уже один этот сухой перечень глав, из которых состоит книга, показывает, что здесь А. Е. Ферсман выступает перед нами не только как теоретик — геохимик и минералог, но и как опытнейший практический работник, который стремится свой богатый опыт, свои знания передать широким массам советских проспекторов, перед которыми поставлены

грандиозные задачи найти и поставить на службу социалистической Родине неисчислимые горные богатства, таящиеся в ее недрах.

В своей статье я попытался самыми краткими штрихами обрисовать образ А. Е. Ферсмана как геохимика. Я коснулся только некоторых его идей, упомянул немногие из опубликованных им книг и, конечно, осветил лишь небольшую часть того научного и практического наследства, которое оставил после себя А. Е. Ферсман.

Я совсем не затронул многих других сторон крайне многогранной и яркой его деятельности — как выдающегося минералога, как организатора и руководителя научно-исследовательских институтов и многих экспедиций, как талантливого популяризатора и непревзойденного мастера слова.

Всю свою яркую, кипучую жизнь А. Е. Ферсман отдал служению науке и родине и оставил после себя такое богатейшее научное наследство, которое на долгие годы будет определять направление наших научных геохимических и минералогических исследований.

Член-корреспондент АН СССР
Д. С. Коржинский

МЕТОДИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ В СССР


етрология, или петрография,[1] это ветвь геологии, изучающая каменные горные породы, процессы их образования и изменения. Поскольку эти процессы осуществляются посредством кристаллизации, растворения, замещения и других физико-химических процессов, знание физико-химических законов необходимо для понимания петрологических явлений, так же как и знание геологических законов развития земной коры, дающих направление петрологическим процессам. Задачей физико-химической петрологии, очевидно, и является установление физико-химических закономерностей петрологических явлений.

Задача эта включает значительные трудности. Если нам известно исходное состояние системы и ход изменения внешних условий, то на основании законов физической химии мы можем предвидеть направление изменения системы и конечное устойчивое состояние. В петрологии на основании изучения горных пород, которые представляют лишь твердую

[1] Петрография в настоящее время понимается либо как синоним петрологии, либо как описательная часть петрологии. Особняком стоит предложение академика Д. С. Белянкина понимать под петрографией изучение не только горных пород, но и искусственных камней — шлаков и продуктов силикатной промышленности. Нам это предложение представляется неприемлемым. Со времени своего возникновения петрография всегда была чисто геологической наукой.

часть изменявшихся систем, мы хотим сделать заключение об исходном состоянии этих систем и о ходе всего процесса. Такая задача, обратная обычной для лабораторной физической химии и технологии, на отдельных примерах, конечно, неразрешима. Некоторые результаты получаются лишь при массовом систематическом исследовании геологических явлений. Вопросы методики таких исследований по физико-химической петрологии представляют значительный интерес.

Хотя физико-химические идеи издавна обсуждались в отдельных работах русских петрологов, развитие физико-химической петрологии в нашей стране в особенности связано с годами революции и последовавшим за ними широким разворотом геологических и петрологических исследований, обобщение данных которых потребовало развития теоретической петрологии. В 1926 г. вышел первый (и пока единственный) русский курс физико-химической петрологии «Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород» профессора, ныне академика, А. Н. Заварицкого [7], читавшего первый у нас курс теоретической петрографии в Ленинградском горном институте. Книга эта содержит не только изложение понятий физической химии и результатов экспериментов, важных для петрологии, но и весьма интересное освещение вопросов петрологии изверженных горных пород на основе физико-химических принципов. Эта книга и лекции А. Н. Заварицкого сыграли большую роль в развитии у нас физико-химической петрологии, хотя вопросы физической химии рассматривались, конечно, и в общих курсах петрографии, например, акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессинга и других.

Исключительно большую роль в развитии нашей науки играют лабораторные экспериментальные исследования. Многие физико-химические вопросы, важные для петрологии, не освещены физико-химическими исследованиями, и соответствующие лабораторные работы приходится ставить геологам. Нередко такого рода исследования считаются предметом самостоятельных дисциплин «экспериментальной петрографии» и «экспериментальной минералогии». Как известно, лабораторному исследованию кристаллизации расплавов породообразующих силикатов были специально посвящены обширные исследования Вашингтонской геофизической лаборатории, и эти работы привели к разработке Н. Боуэном петрологической теории кристаллизационной дифференциации при образовании изверженных горных пород (1915), встретившей почти всеобщее при-

знание петрологов. Диаграммы равновесия, составленные по данным лабораторных исследований, составляют основной материал курсов физико-химической петрологии. У нас лабораторные исследования силикатов производились и до революции,[1] но особо точные исследования в специально оборудованных лабораториях начались после революции (так, Лаборатория высоких температур при Геологическом комитете, ныне ВСЕГЕИ, начала работать в Ленинграде в 1921 г.). При Академии Наук СССР, под руководством академика Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, было проведено (в 1934, 1936 и 1939 гг.) три совещания по экспериментальной минералогии и петрографии, в трудах которых опубликованы результаты весьма многочисленных и разнообразных лабораторных исследований советских ученых [19, 20, 21]. Ведущую роль на этих совещаниях играли петрологи и минералоги, но значительная часть докладов была сделана технологами и металлургами. Вообще надо сказать, что значительная часть тех работ, которые ведутся в лабораториях экспериментальной петрографии, посвящена изучению продуктов силикатной промышленности и шлакам, или проблемам, имеющим прямое отношение к технологии, но довольно далеких от проблем петрологии. Этим оказывается весьма существенная помощь промышленности, в которой до сих пор не уделялось достаточного внимания этим исследованиям, а первоначально и просто отсутствовали соответствующие специалисты. Постановка научного изучения тех силикатных систем, которые применяются в силикатной промышленности и металлургии, а также подготовка кадров исследователей, работающих теперь в научно-исследовательских институтах промышленности, является, в частности, большой заслугой петрологов — академиков Ф. Ю. Левинсон-Лессинга и Д. С. Белянкина.

Следует отметить, что при понимании петрографии как науки геологической (о горных породах) термин «экспериментальная петрография» условен и может повести к недоразумениям. Наиболее обычная задача экспериментальных работ петрографа — это изучение диаграмм плавкости двойных и тройных систем, т. е. установление температур начала и конца кристаллизации расплавов двух или трех чистых окислов, в зависимости от их соотношения. Точно такие же исследования производятся в лабораториях силикатной промышленности и металлургии, где эти данные

[1] Так, Экспериментальная минералогическая лаборатория Политехнического института в Ленинграде была основана в 1906 г.

необходимы для улучшения производственных процессов. Едва ли правильно называть одно и то же экспериментальное исследование петрографическим, если его ведет петрограф, и технологическим, если его ведет технолог. Такое исследование безусловно является физико-химическим, и мне кажется, что оно остается таковым, независимо от того, в интересах какой науки оно ведется.

В методическом отношении «экспериментальная петрография» относится к петрографии (петрологии) в целом совершенно иначе, чем экспериментальные направления в физике, ботанике, физиологии и пр. к соответствующим наукам в целом. В последних эксперимент заключается в том, что явления, изучаемые данной наукой, заставляют протекать в контролируемых условиях, изменяемых по желанию экспериментатора. В геологии такой эксперимент возможен только в редких случаях. Задачей экспериментальной петрологии могло бы быть, например, изучение при помощи плотины со шлюзами влияния движений воды на отложение осадков. Возможно также экспериментальное изучение лавовых излияний вулканов, но экспериментальное изучение глубинных процессов земной коры, составляющих главный предмет петрологии, невозможно. Геология с петрологией, подобно астрономии, не относится к числу экспериментальных наук.

Итак под термином «экспериментальная петрография» понимаются вспомогательные для петрологии физико-химические исследования. Один из основных деятелей экспериментальной петрографии — А. С. Гинзберг совершенно правильно сказал еще в 1934 г.: «При изучении петрологических проблем эксперимент является чрезвычайно важным, но исключительно вспомогательным орудием» [19, стр. 29]. Очевидно, что и самое название «экспериментальная петрография» не является удовлетворительным. Но так как сама физическая химия развивается под воздействием запросов к ней других наук и петролог никогда не найдет в физико-химической литературе достаточного освещения всех интересующих его физико-химических проблем, то вспомогательные физико-химические эксперименты в геологических учреждениях необходимы в такой же степени, как химические и физические исследования состава и свойств горных пород и минералов.

Посмотрим, как используются лабораторные эксперименты для петрологических выводов.

Ряд петрологов, в особенности академик Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, придавали большое значение ликвации магм, т. е. разделению природных расплавов горных пород еще в жидком состоянии. Но экспериментально ликвация силикатных расплавов была установлена (Грейг в 1927 г.) только для расплавов, лишенных глинозема и весьма богатых кремнеземом (свыше 70%), тогда как для расплавов, более близких к составам горных пород, наблюдалась полная смешиваемость. Д. П. Григорьев при помощи прибавки к силикатному расплаву фтора получил ликвацию в расплавах, которые по соотношению главных окислов близки к горным породам, причем ликвация происходила на два слоя: более легкий, близкий по составу к липаритам, и более тяжелый, близкий к перидотитам [5]. Фтор здесь предположительно действует косвенно, как могут действовать вода и другие летучие компоненты магмы. Эти опыты доказали, что ликвация в магмах возможна, хотя они, конечно, не доказывают, что ликвация в магмах действительно происходит. Иначе можно сказать, что по аналогии с этими опытами ликвация в природных магмах представляется вероятной. Тот же автор доказал экспериментально несмесимость сульфидного расплава, по составу почти соответствующего минералу пирротину, и силикатного расплава, имеющего упрощенный состав горной породы типа габбро [4]. До этого ликвация воспроизводилась лишь в расплавах, лишенных глинозема. Эти опыты значительно увеличивают обоснованность давно высказанной геологами гипотезы об образовании сульфидных пирротиновых руд в габбровых породах путем ликвации из магмы.

В геологической литературе часто обсуждается вопрос, имеют ли место в постмагматических водных растворах надкритические явления, при которых переход жидкого состояния в газообразное непрерывен. Растворение твердых веществ повышает критическую температуру воды и, по предположению части геологов, исключает критические явления для природных растворов, насыщенных разнообразными веществами. Опыты Н. И. Хитарова и Л. А. Иванова [23] показали, что при растворении в воде нескольких веществ повышение критической температуры в некоторых случаях может быть меньше, чем в результате растворения каждого из этих веществ в отдельности. Кроме того, эти авторы, а также Ф. В. Сыромятников [19] показали, что сжатый перегретый (надкритический) водяной пар способен растворять значительные количества

твердых веществ, включая окись железа и кремнезем, последний в особенно большом количестве в присутствии щелочных металлов. Эти эксперименты дают новые аргументы тем геологам, которые придают большое значение «пневматолитовому» этапу (газовым выделениям) при остывании магматических тел. Однако поскольку действительный состав постмагматических растворов точно нам неизвестен, эксперименты не могут доказать наличие или отсутствие в них критических явлений.

Вообще в отношении более сложных петрологических явлений эксперименты обычно не дают однозначных выводов, а только более или менее убедительные аналогии. Академик Д. С. Белянкин в своих работах описывает много примеров из силикатной технологии и металлургии, как аналогов природных петрологических явлений. Так, например, в стеклоплавильных печах на кирпичах образуются выплавки стекла эвтектоидного состава (т. е. обладающего минимальной температурой плавления). Химический анализ их обнаруживает близкое сходство по составу в одних случаях с гранитами, в других — с нефелиновыми сиенитами, т. е. с широко распространенными горными породами [1]. Эвтектический состав и в некоторых случаях образование за счет выплавления из других горных пород почти несомненны для гранитов и, посредством данной аналогии, становятся вероятными для нефелиновых сиенитов. Надо сказать, что аналогии весьма возбуждают нашу мысль и открывают перед нами новые возможные решения проблем, хотя, конечно, аналогия никогда не может служить доказательством («comparaison n'est pas raison»).

Значительный интерес представляет исследование газово-жидких включений в оптических минералах Н. П. Ермаковым [6]. Эти включения изучались уже давно, и, как известно, Ньюхауз (1933) применил метод определения температуры образования руд путем нагревания под микроскопом пластинок из сфалерита: температура, при которой происходило исчезновение газовых пузырьков в жидких включениях в сфалерите, по его предположению, отвечает температуре образования этого минерала. Н. П. Ермаков при помощи искусственного воспроизведения жидких (водных) включений в прозрачной пластмассе показал, что образование газовых пузырьков в этих включениях происходит в силу одного понижения температуры, вследствие уменьшения объема жидкости, а не обязательно в связи с выделением посторонних газов, растворенных в жидкости, как предполагалось ранее. Этот эксперимент позволяет

с значительной уверенностью отождествлять температуру гомогенизации включений с температурой образования минерала, хотя, конечно, возможны случаи первично двухфазовых включений (прилипание пузырьков газов к граням растущих кристаллов). Сконструировав новую аппаратуру, автор провел обширное исследование оптических минералов (кальцита, флюорита, барита) из различных месторождений Средней Азии и получил убедительные данные о температурах их образования. В этой второй части исследования мы имеем дело с определением некоторых свойств естественных минеральных образований (температура гомогенизации включений) и с истолкованием их на основе гипотезы, подтвержденной экспериментом с включениями в пластмассе.

Данные металлургии, металлографии, силикатной технологии и пр. издавна изучались петрологами и использовались в качестве аналогий при объяснении петрологических явлений. Экспериментальные исследования металловедами явлений кристаллизации и перекристаллизации полностью отвечают также и интересам петрологов. Так, например, произведенное А. А. Бочваром «Исследование механизма и кинетики кристаллизации сплавов эвтектического типа» [2] представляет выдающийся интерес для петрологов, поскольку многие горные породы имеют именно эвтектический состав, соответствующий наиболее низким температурам плавления. А. А. Бочвар экспериментировал над легко кристаллизующимися органическими соединениями, что дало ему возможность легко изменять условия и ход кристаллизации; такой метод экспериментирования над моделями особенно важен для петрологов, поскольку экспериментирование над силикатными системами связано с громадными трудностями. Моделирование применялось и Д. П. Григорьевым, в ряде опытов которого над силикатными системами фтор играл роль воды природных магм.

Можно сгруппировать данные, которые используются в физико-химической петрологии, таким образом: основной материал составляют данные полевых геолого-петрологических исследований и лабораторных определений химического состава и свойств изучаемых горных пород и минералов. Для анализа и истолкования этих данных используются общие физико-химические закономерности данного типа явлений, уже известные науке или, при отсутствии таких знаний, выясняемые специально поставленными экспериментами. Используются экспериментально

полученные константы физико-химических реакций. Наконец, в качестве аналогий используются разнообразные процессы и явления технологии и специально поставленные эксперименты.

Рассмотрев значение лабораторного эксперимента для физико-химической петрологии, мы обратимся к вопросу, как выводятся физико-химические закономерности геологических процессов.

В физике, как показал весьма интересный анализ академика С. И. Вавилова [3], необходимо различать два метода: метод гипотез и метод принципов. Аналогичные два методические направления наблюдаются и в физико-химической петрологии. Одно из них вполне отвечает методу гипотез в физике. Основываясь на геологических наблюдениях, общих законах физической химии, физико-химических константах, а иногда и на аналогиях с технологическими или лабораторными процессами, авторы дают наглядную предположительную картину или модель геологического явления как некоторого физико-химического процесса. Существенным моментом здесь является то, что даваемая картина или модель представляет лишь одну из нескольких возможных. Путем рассмотрения геологических примеров автор старается доказать, что его модель достаточно хорошо согласуется с геологическими фактами и в этом отношении более удовлетворительна, чем другие возможные для данных геологических явлений модели. В отличие от физики, в геологии редко возможна точная количественная проверка следствий из гипотезы, и потому привлечение геологических примеров редко может действительно доказать несостоятельность той или иной гипотезы, а обычно показывает только бо́льшую или меньшую ее достоверность: в геологии гипотезы редко бывают опровергнуты фактами, чаще они мирно теряются среди более новых гипотез и забываются. В силу сложности геологических явлений возможно много вариантов их объяснения и потому мало вероятия напасть на единственно правильный вариант, тем более что направления наших исканий и наши представления о вероятном и невероятном в петрологии нередко оказываются ошибочными. Поэтому прочное научное значение гипотез в петрологии много ниже, чем в физике и химии.

Методу принципов в физике в нашей области соответствует метод, который может быть назван методом эмпирических закономерностей. В обоих случаях в наблюдаемых явлениях улавливаются некоторые постоянные соотношения и формулируются в виде закономерностей,

вытекающих только из изученного материала и не являющихся выводом из более общих законов или гипотез. При выводе этих закономерностей мы не должны быть, следовательно, связаны желанием дать общую картину изучаемых процессов, т. е. причины существования данных закономерностей могут быть для нас совершенно неясны: поэтому эти закономерности могут быть названы эмпирическими. Только после установления ряда таких первичных закономерностей из них могут быть выведены более общие эмпирические закономерности или создана гипотеза, в которой эти эмпирические закономерности петрологических процессов показаны как простые следствия более общих законов физической химии и геологии. В отличие от физики, в геологии эмпирические закономерности никогда не обладают такой общностью, чтобы на них, как на принципах, могли бы строиться целые отделы науки (принципы термодинамики и пр.). Поэтому здесь мы говорим о методе эмпирических закономерностей, а не о методе принципов, хотя оба метода в своей противоположности методу гипотез по существу совпадают.

Метод гипотез и метод эмпирических закономерностей противоположны только в крайних своих проявлениях. Поскольку гипотезы выдвигаются на основе фактического материала и публикуются, как правило, лишь после длительного испытания этим материалом, они тем самым отображают этот материал. С другой стороны, наиболее интересные эмпирические закономерности выводятся при помощи абстракции от некоторых сторон наблюдаемых явлений и путем анализа явлений с помощью тех или иных общих принципов, а потому при выводе их может проникнуть гипотетический момент. Отыскание и формулировка эмпирической закономерности облегчаются, если имеется простое объяснение этой закономерности, т. е. гипотеза. Поэтому некоторые выводы могут занимать промежуточное положение между гипотезой и эмпирическим выводом. Наконец, эмпирический вывод всегда основан на ограниченном материале, и поэтому формулировка его как закономерности, т. е. экстраполяция, всегда носит характер предположения, так сказать «эмпирической гипотезы».

Весьма картинная гипотеза эволюции остаточной гранитной магмы с образованием из нее крупнокристаллических пегматитов была разработана академиком А. Е. Ферсманом. Его книга «Пегматиты» [22], выпущенная в трех изданиях (1931, 1932, 1940), изучалась всеми советскими геологами и послужила основой для многочисленных исследований

пегматитов. По обилию собранных здесь личных наблюдений и литературных данных по пегматитам всех стран и по разностороннему освещению проблемы пегматитов эта книга не имеет себе равных среди других трудов по пегматитам, наших и зарубежных. В качестве физико-химической модели процесса застывания гранитного остатка автор принимает модель, предложенную П. Ниггли (1920) и Фогтом. Это двухкомпонентная система тугоплавкого (силикат) и легколетучего (вода и пр.) компонентов, с критическими явлениями для насыщенных растворов и с возможностью постепенного (в отношении состава) перехода от расплава тугоплавкого компонента через насыщенные растворы к низкотемпературным жидким растворам, существенно состоящим из легколетучего компонента (воды). Соответственно весь процесс застывания гранитного остатка и образования пегматитов разбивается на три этапа: этап магматический, этап пневматолитический (когда насыщенные растворы находятся в надкритическом состоянии) и этап гидротермальный. При этом допускается, что объем системы, примерно, постоянен, тогда как давление резко изменяется и в пневматолитовый этап достигает максимума. На основе этой модели рассматривается не только образование пегматитов, но и соотношение их с «рудными пневматолитами» и вообще все постмагматические явления.

Весь процесс застывания гранитного остатка разбивается затем на температурные интервалы, более дробные, чем этапы, — автор называет их фазами (а позднее «геофазами»). Автор дает подробную характеристику структурных и минералогических особенностей продуктов кристаллизации каждой из фаз и указывает температуры перехода между ними. Конец кристаллизации пегматитов графической структуры (с закономерными прорастаниями полевых шпатов кварцем) отождествляется с моментом перехода гранитного остатка в надкритическое состояние и одновременно с превращением высокотемпературной модификации кварца в низкотемпературную, что должно соответствовать температуре около 600°. Все остальные температурные границы установлены условно, на основании косвенных соображений и исходя из желания иметь законченную, хотя и условную картину всего процесса. Таким образом, получается постоянная последовательность граф («геохимическая диаграмма» или «геохимический ключ»), по которым автор разносит минералы, структуры и процессы изученных им или описанных в литературе пегматитов, на основе чего делает ряд интересных сопоставлений и выводов.

Благодаря своей простоте и законченности, а также талантливости изложения эта гипотеза произвела у нас необыкновенно большое впечатление, вызвав горячий интерес к изучению пегматитов. Для подавляющей массы молодых исследователей пегматитов книга «Пегматиты» А. Е. Ферсмана явилась руководством, и большинство работ по пегматитам, появившихся в большом количестве после этой книги, построено по «методу Ферсмана». Такого рода исследования дали много интересного фактического материала, но, в силу своей односторонности и подведения фактов под определенную схему без проверки этой схемы, ничуть не углубили нашего понимания пегматитов.

Вместе с тем появился ряд статей, в которых отрицаются или подвергаются сомнению основные представления А. Е. Ферсмана. Прежде всего исходная схема застывания магмы Ниггли — Фогта — Ферсмана лишь одна из нескольких возможных, и правильность ее совершенно не доказана. Многие геологи сомневаются в наличии критических явлений в природных насыщенных растворах; во всяком случае геологические наблюдения не дают никаких критериев, которые позволяли бы отличать пневматолитовый этап от гидротермального. Остывание гранитов скорее идет при постоянном давлении, задаваемом нагрузкой вышележащих пород, чем при постоянном объеме, а в этом случае схема Ферсмана неприложима (академик А. Н. Заварицкий [8]). Исходя из петрологических наблюдений, А. Н. Заварицкий указывает на существование резкого разрыва между магматическим этапом, заканчивающимся кристаллизацией магмы, и этапом воздействия постмагматических растворов. Им высказывается предположение, что пегматитовой магмы вовсе не существует, а пегматиты образуются в результате перекристаллизации гранитов под воздействием постмагматических растворов [8]. Основываясь на лабораторных экспериментах Горансона, показавших малую растворимость воды в расплавленных гранитах даже под большим давлением, В. А. Николаев [16] предложил двухкомпонентную модель застывания гранитов с резким разрывом по составу между магмой и газообразным постмагматическим остатком. Ранее этого, на основании изучения мусковитовых пегматитов, мною доказывалось, что мусковит и включающие его «апографические» пегматиты образуются не кристаллизацией из магматического остатка, а при перекристаллизации графических пегматитов под воздействием растворов, которые уже почти не содержали ни глинозема,

ни кремнезема [12]. Наблюдения, указывающие на образование самих графических пегматитов за счет перекристаллизации гранитов, приводились Н. М. Успенским. Эти и многие другие возражения подрывают значение схемы А. Е. Ферсмана. Законченность и картинность этой гипотезы, обеспечившие ей на первых порах такой успех, при недостаточности наших знаний могут рассматриваться как методический ее недостаток. Тем не менее книга «Пегматиты» академика А. Е. Ферсмана имеет, конечно, весьма крупное значение не только для минералогии и геохимии, но и для петрологии.

Можно заметить, что в гипотетических представлениях о постмагматических процессах главное внимание уделяется таким вопросам, в отношении которых геологические наблюдения не дают возможности сделать какие-либо определенные заключения. Нет убедительных критериев, которые позволяли бы нам судить об агрегатном состоянии воздействовавших растворов и об их кислотности или щелочности, а поэтому нет возможности проверить гипотезы, которые в основном посвящены именно этим вопросам. Имеется громадный разрыв между фактическим материалом и гипотезами, и необходимое взаимодействие между ними слишком слабо. Этот разрыв может быть заполнен только системой эмпирических закономерностей, которые дадут твердую почву для объясняющих гипотез.

Гораздо плодотворнее гипотезы в отношении кристаллизации магмы как процесса, повидимому, более простого. Основной гипотезой здесь является та, что процесс этот подчиняется законам равновесия и что в основном мы имеем здесь дело с кристаллизацией расплава, тогда как вода и другие летучие играют при этом второстепенную роль. Это дает возможность использовать диаграммы плавкости, полученные для сухих систем. Видоизменяя эти экспериментальные данные согласно наблюдениям над составом и структурами изверженных горных пород, мы получаем модели процессов кристаллизации магмы. Интересно в этом отношении исследование В. С. Соболева [18], который на основании петрологического изучения пород базальтовой (трапповой) формации сибирской платформы дал четырехкомпонентную модель (альбит-анортит-диопсид-геденбергит) кристаллизации базальтовой магмы платформы. Плагиоклаз и пироксен кристаллизуются одновременно, меняя свой состав по мере понижения температуры, причем плагиоклаз становится все более богатым альбитовой, а пироксен геденбергитовой молекулой, т. е. отношение железа

к магнию в пироксенах по мере кристаллизации возрастает. Установление последнего обстоятельства эмпирическим путем и теоретическая увязка с общей моделью кристаллизации магмы делают этот вывод автора особенно интересным.

Обратимся теперь к методу эмпирических закономерностей. Образцовым произведением этого направления является книга академика А. Н. Заварицкого «Введение в петрохимию» ([9], сокращенное изложение см. [10]). В этой книге впервые выделяется в качестве самостоятельной ветви петрологии изучение химических составов горных пород —«петрохимия» — и излагаются ее методы и задачи. Основной задачей петрохимии автор считает чисто индуктивное исследование многообразия химических составов изверженных горных пород с выводом эмпирических закономерностей, независимых от каких-либо гипотез. После установления эмпирических закономерностей могут быть выдвинуты те или иные гипотезы для их объяснения, но: «раньше чем объяснять закономерности, проявляющиеся в вещественном составе горных пород, надо эти закономерности обнаружить». Автор излагает разработанный им рациональный метод геометрического толкования химических составов горных пород при помощи диаграммы с векторами. Этот метод был им уже опубликован несколько раньше, и в настоящее время им пользуются все советские петрографы. Закономерные соотношения многокомпонентных химических составов выразятся здесь в наглядных закономерностях расположения векторов, в изменении их направлений и длин.

Систематическое применение этого метода к совокупностям химических анализов лав отдельных вулканов, горных пород различных формаций и, наконец, к совокупности всех горных пород приводит автора к открытию весьма важных для петрологии эмпирических закономерностей. Каждому естественному ряду горных пород, т. е. последовательным излияниям одного вулкана или последовательным внедрениям одного массива, соответствует определенная двойная линия начала и конца векторов на диаграмме. Для одной вулканической области с течением геологического времени может происходить закономерное смещение этой двойной линии составов, обычно в сторону возрастающей щелочности, т. е. возрастающего содержания щелочных металлов. Намечаются и другие закономерности, которые послужат благодарной почвой для построения физико-химических моделей и гипотез.

В заключение автор на тех же диаграммах дает изображение путей кристаллизации (эвтектических линий) экспериментально изученных сухих систем из главных компонентов горных пород и показывает, что эти линии по положению на диаграмме и по направлению последовательности кристаллизации сходны с линиями естественных рядов горных пород. Это является аргументом в пользу значения кристаллизационной дифференциации при образовании изверженных горных пород и в пользу эвтектического состава большинства их представителей.

Существует большое количество гипотез, объясняющих образование серий горных пород за счет одной исходной магмы. Теперь выяснилась необходимость для получения более определенных результатов детального изучения действительно существующих естественных серий или рядов изверженных горных пород различных месторождений, с выявлением эмпирических закономерностей в них. Задача эта осложняется тем, что, оказывается, в одном и том же массиве часто имеется несколько серий пород, внедрившихся в разное время, хотя и связанных некоторой общностью («общий очаг»). Весьма интересные результаты по расчленению естественных серий пород и по детальному их изучению получены академиком А. А. Полкановым, который проблеме естественных рядов горных пород уделяет большое внимание (см., например, [17]).

Позволю себе теперь остановиться на моих работах по исследованию минеральных равновесий, в которых я в основном иду методом вывода эмпирических закономерностей. В качестве аппарата для анализа наблюдений здесь приходится использовать методы, основанные на самых общих принципах термодинамики. Прежде всего — это учение о химическом равновесии, основанное на понятии о термодинамических потенциалах, общем и парциальных (химических). Важнейшим выражением учения о равновесии является «правило фаз» Вилларда Гиббса ($c + \phi = \kappa + 2$), которое дает связь между числом ϕ — находящихся в химическом равновесии фаз (в частности, минералов), числом κ — слагающих их компонентов и числом c — степеней свобод системы, т. е. числом тех факторов равновесия, которые заданы внешними условиями и, следовательно, не могут иметь каких-либо специальных значений, необходимых для сохранения в равновесии данного числа минералов. Эти независимые, извне заданные факторы равновесия могут изменять свою величину в некоторых пределах без изменения числа одновременно устой-

чивых минералов. Петрографические наблюдения могут нам указать число одновременно образующихся (или взаимодействовавших) минералов, а знание их химического состава даст число компонентов; тогда правило фаз даст нам число внешне заданных условий. Температура и давлѐние при геологических процессах всегда заданы внешними условиями (т. е. почти не зависят от местных реакций), и поэтому число степеней свободы всегда не меньше двух, а число минералов не может, при равновесии, превосходить числа компонентов ($\phi \leqslant k$). В такой упрощенной форме правило фаз было впервые в петрологии применено В. Гольдшмидтом (в 1911 г.), а затем П. Эскола и другими. Кроме того, из правила фаз следует существование определенной зависимости между составами тех сосуществующих минералов, для которых возможна вариация состава.

Правилу фаз подчиняются, конечно, только равновесные образования. Изучая минеральные ассоциации группы горных пород, образовавшихся в одинаковых геологических условиях, с точки зрения правила фаз, мы можем установить, подчинены эти ассоциации законам химического равновесия или нет. Существенно то, что, применяя правило фаз, мы вовсе не должны делать предварительного гипотетического допущения о равновесности состава изучаемых горных пород; наоборот, заключение о равновесности или неравновесности получается как эмпирический вывод из исследования на основе правила фаз независимо от тех или иных наших предположений. Такие исследования показали, что в петрологии громадное значение имеют процессы, при которых достигались равновесные состояния, хотя при прекращении этих процессов и изменении внешних условий неравновесные ассоциации и состояния могут сохраняться неограниченно долго.

Теоретически возможен такой случай, когда внешними условиями задаются не только температура и давление, но и химические потенциалы или концентрации в растворе некоторых компонентов системы. Так, при всех лабораторных опытах с прокаливанием в открытых тиглях химический потенциал (или давление) кислорода остается постоянным и независимым от реакций поглощения или выделения его в тигле, поскольку это давление (а следовательно, и потенциал) задается составом атмосферы и легко выравнивается при местном его нарушении. Кислород здесь ведет себя «вполне подвижно». Система может быть замкнута в отношении одних («инертных») компонентов и вполне открыта в отношении других («вполне

подвижных») компонентов: для первых постоянно содержание в системе, а для вторых постоянен потенциал. Соответственно с увеличением числа факторов, заданных извне, число устойчивых фаз сокращается и не превосходит, вообще говоря, числа инертных компонентов. Анализ минеральных ассоциаций в горных породах при помощи правила фаз показывает, что такой случай «вполне подвижного» поведения некоторых компонентов широко распространен при петрологических процессах. Это обстоятельство, вместе с данными об изменении химического состава горных пород при метасоматических процессах, приводит к эмпирическому принципу «дифференциальной подвижности элементов при петрологических процессах», согласно которому при каждом данном петрологическом процессе некоторые элементы или окислы ведут себя инертно (не перемещаются), а другие вполне подвижно. Этот принцип основан на анализе наблюдений и независим от той или иной гипотезы, объясняющей причины дифференциальной подвижности, т. е. дающий наглядную модель ее. Явления перемещения элементов в земной коре довольно сложны и недостаточно изучены. Дифференциальная подвижность, несомненно, связана главным образом с весьма различной растворимостью компонентов в природных растворах, а также с различием их способностей диффундировать и просачиваться с раствором через горные породы.

Введение вышеизложенного понятия о подвижности [11, 14] делает анализ минеральных ассоциаций на основе правила фаз особенно плодотворным. Изучая ассоциации минералов в группе горных пород, образовавшихся при одном геологическом процессе, мы не только выясняем равновесность или неравновесность этих образований и устанавливаем характер равновесной связи между химическим и минералогическим составом при данных условиях, но и устанавливаем подвижное или инертное поведение различных компонентов при этом процессе, переходя, таким образом, от статики к кинематике процесса.

Сопоставляя полученные таким образом данные по различным процессам, протекавшим в различных геологических условиях, мы приходим к установлению ряда закономерностей в подвижности различных компонентов в различных условиях. Так, вода и углекислота ведут себя вполне подвижно при всех метаморфических и магматических процессах; щелочные металлы при наименее интенсивном, так называемом «нормальном», метаморфизме инертны, но вполне подвижны при всяком метасоматозе

(т. е. метаморфизме с изменением состава); магний и железо становятся подвижны только при наиболее интенсивных метасоматических явлениях и т. д. С изменением температуры и глубинности процесса относительная подвижность окислов может меняться. Так, с понижением температуры процесса подвижность кальция и кремнезема резко возрастает, а у железа резко понижается. Подвижность кальция возрастает также с увеличением глубинности.

Наконец, сопоставление разных минеральных ассоциаций дает возможность точных заключений об относительной величине химических потенциалов слагающих их компонентов. Это особенно важно в отношении вполне подвижных компонентов, так как дает возможность сравнивать их концентрацию в растворах для различных геологических условий. Так, сопоставление (с помощью методов геометрического толкования) минеральных ассоциаций метаморфических пород позволило установить, что с увеличением глубинности метаморфизма давление (или химический потенциал) углекислоты резко возрастает, тогда как для воды заметного увеличения потенциала не происходит. Такое расхождение в поведении воды и углекислоты дает возможность дать чисто минералогические критерии для различения относительной глубины образования метаморфических пород, т. е. выделять «минералогические фации глубинности» [13]. Эти особенности режима воды и углекислоты хорошо объясняются гипотезой, что метаморфизм совершается при участии жидких водных растворов, насыщенных углекислотой: тогда увеличение глубины и связанного с нею давления должно повышать давление растворенной углекислоты, но мало отразится на давлении паров воды. Интересные данные получаются при анализе минеральных равновесий также в отношении режима кислорода в земной коре [13].

В вышеприведенных примерах мы исследовали только конечные равновесные состояния. Дальнейшие исследования самих петрологических процессов (околожильного метаморфизма, скарнообразования и пр.) показали, что и в этих процессах мы имеем серию закономерно сменяющих друг друга равновесных состояний. Анализ минеральных ассоциаций дает ряд эмпирических закономерностей, на основании которых можно построить физико-химические модели этих процессов. Обе эти стороны исследования развиты, например, в работе о флогопитовых и лазуритовых месторождениях [15].

В связи с разнообразием и изменчивостью геологических условий петрологических процессов, эмпирические закономерности здесь всегда носят частный характер. Они не дают возможности предвидеть новые явления, и ограничиться ими петрология, конечно, не может. Гипотезы или физико-химические модели явлений нам совершенно необходимы. Но мы видели, что в настоящее время для петрологии типичен глубокий разрыв между фактами и гипотезами. Существующий фактический материал обычно не дает возможности сделать вполне обоснованный выбор между взаимно исключающими гипотезами. Этот разрыв должен быть заполнен выводом эмпирических закономерностей разных степеней общности. Это мне представляется сейчас наиболее важной задачей физико-химической петрологии.

Гипотезы физико-химической петрологии, естественно, должны давать объяснения наблюдаемым закономерностям на основе главных законов физической химии. Объяснения по аналогии с лабораторным экспериментом или с технологическим процессом имели большое значение в прошлом, но сейчас в физико-химической петрологии они представляются недостаточными, хотя часто и полезными. Иногда встречаются еще гипотезы-схемы, занимающие как бы промежуточное положение между эмпирическими закономерностями и гипотезами. С первыми их сближает необоснованность законами физической химии, а со вторыми — придаваемая им общность и отсутствие прямой связи с наблюдениями (т. е. невозможность прямой проверки наблюдением). Источником таких построений обычно служат аналогии или схемы типа мнемонических. Благодаря своей простоте такие схемы легко становятся популярными среди геологов, не занимающихся петрологией специально. Польза таких схем для науки сомнительна. В качестве примера укажем распространенные схемы «генераций минералов», согласно которым развитие каждого минерала, даже в метасоматических породах, считается самостоятельным процессом, протекающим при определенной температуре. Сторонники таких взглядов в образовании какой-либо горной породы иногда насчитывают столько же процессов или генераций, сколько в ней содержится минералов.

В заключение мы можем сказать, что физико-химическая петрология, начавшая развиваться в нашей стране собственно только после революции, достигла значительных успехов. Характерно то, что вначале содержание физико-химической петрологии почти ограничивалось «экспери-

ментальной петрографией» (т. е. лабораторным экспериментом) и гипотезами, основанными преимущественно на аналогиях. В настоящее же время основное значение приобрели теоретико-аналитические исследования самих горных пород и их ассоциаций, с выявлением закономерностей эмпирического характера и построением тесно связанных с ними гипотез.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Д. С. Белянкин.* Некоторые параллели из области петрографии технического камня и петрографии естественных горных пород. Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
2. *А. А. Бочвар.* Исследование механизма и кинетики кристаллизации сплавов эвтектического типа. ОНТИ, 1935.
3. *С. И. Вавилов.* Исаак Ньютон. Изд. АН СССР, 1943.
4. *Д. П. Григорьев.* О взаимоотношениях полевошпатово-пироксенового и сульфидного расплавов. Зап. Всеросс. мин. об-ва, ч. 67, 1938, № 1.
5. *Д. П. Григорьев* и *Е. В. Искюль.* Дифференциация некоторых силикатных расплавов как результат образования двух несмешивающихся жидкостей. Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 1.
6. *Н. П. Ермаков.* Температуры образования гидротермальных оптических минералов. Сов. геол., сб. 1, 1944.
7. *А. Н. Заварицкий.* Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород. Л., 1926.
8. *А. Н. Заварицкий.* Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов. Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
9. *А. Н. Заварицкий.* Введение в петрохимию. Изд. АН СССР, 1944.
10. *А. Н. Заварицкий.* Особенности задач и метод петрохимии. Бюлл. Моск. об-ва исп. прир., отд. геол., т. XX, 1945, № 3—4.
11. *Д. С. Коржинский.* Подвижность и инертность компонентов при метасоматозе. Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
12. *Д. С. Коржинский.* Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Вост. Сибири. Сб. «Слюды СССР», изд. ЦНИГРИ, 1937.
13. *Д. С. Коржинский.* Факторы минеральных равновесий и минералогические фации глубинности. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 12, 1940.
14. *Д. С. Коржинский.* Закономерности ассоциации минералов в породах архея Вост. Сибири. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 61, 1945.
15. *Д. С. Коржинский.* Биметасоматические флогопитовые и лазуритовые месторождения архея Прибайкалья. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 29, 1947.
16. *В. А. Николаев.* Диаграммы равновесия бинарных систем типа силикат — вода и отделение летучих соединений из магматических расплавов. Зап. Всеросс. мин. об-ва, ч. 74, 1945, № 2.

17. *А. А. Полканов.* Серии гортонолитсодержащих пород плутона Гремяха — Вырмес на Кольском полуострове и о некоторых очередных вопросах систематики магматических горных пород. Уч. зап. ЛГУ, серия геол.-почв. наук, вып. 13, 1944.
18. *В. С. Соболев.* Петрология траппов Сибирской платформы. Тр. Аркт. ин-та, т. 43, 1936.
19. Труды совещания по экспериментальной минералогии и петрографии 1934 г. Тр. Геол. ассоц. АН СССР, вып. 3, 1935.
20. Труды второго совещания по экспериментальной минералогии и петрографии 1936 г. Изд. АН СССР, 1937.
21. Труды третьего совещания по экспериментальной минералогии и петрографии 1939 г. Изд. АН СССР, 1940.
22. *А. Е. Ферсман.* Пегматиты, т. I. Гранитные пегматиты. 3-е изд. АН СССР, 1940.
23. *Н. И. Хитаров* и *Л. А. Иванов.* Экспериментальные данные по характеристике водных растворов в области критических температур (в приложении к вопросам геологии). Тр. 17-й сессии Межд. геол. конгр., т. 5, М., 1940.

Академик

С. С. Смирнов

и член-корреспондент АН СССР

А. Г. Бетехтин

УСПЕХИ В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ОБРАЗОВАНИЯ МАГМАТОГЕННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



агматогенные рудные месторождения, связанные своим происхождением с процессами образования разнообразных изверженных горных пород, являются важнейшим источником металлов, используемых ныне человечеством. Потребление руд этих металлов растет с каждым годом, с угрожающей, можно сказать, быстротой. Достаточно указать, что за последние 20—25 лет из земной коры было извлечено металлов больше, чем за всю предыдущую историю человечества. И если вспомнить, что руды, как и всякое другое минеральное сырье, будучи раз выработанными, вновь не возобновляются, то легко будет понять, что вопрос об отыскании новых запасов руд является вопросом исключительной важности. Необходимо из года в год не только восполнять убыль рудной базы, но и увеличивать ее все больше и больше, чтобы обеспечить возможность дальнейшего расширения горной промышленности.

Решение этих задач с каждым годом усложняется, так как фонд легко открываемых месторождений неуклонно сокращается. В ряде стран уже ясно наметился разрыв между количеством добываемых и вновь находимых руд. Понятно поэтому, что, например, в США и Канаде в последние годы с тревогой говорят о грядущем истощении рудной базы, о скором переходе США в категорию «неимущих наций» (have-not-nations).

Успешное решение задач восполнения и расширения рудной базы зависит от ряда факторов. Одним из важнейших среди них является состояние теории образования рудных месторождений. Каково же современное состояние этой теории и каковы наши, советские успехи в этой области?

Сразу же надо отметить, что мы еще далеки от создания совершенной теории рудообразования, такой теории, которая могла бы не только удовлетворительно объяснять наблюдаемые факты, но и — самое главное — предсказывать их. Значительных успехов добились мы в понимании процессов образования месторождений, связанных с формированием осадочных пород и с явлениями выветривания, происходящими на земной поверхности. Здесь мы можем наблюдать не только результаты процесса, но в некоторой мере и самый процесс.

Что же касается самой важной группы рудных месторождений — магматогенных, то в этой области успехи менее значительны. Магматогенные месторождения являются конечным результатом сложной цепи явлений, происходящих в глубинах земли. Наблюдать непосредственно эти явления, за ничтожными исключениями, мы не можем. Таким образом, здесь приходится, в основном, по результату процесса восстанавливать самый процесс. Разумеется, это значительно более сложная задача, чем та, с которой мы сталкиваемся при изучении осадочных месторождений и месторождений выветривания. И все же с полной определенностью можно констатировать хотя и медленный, но неуклонный прогресс и в области вопросов образования магматогенных рудных месторождений.

Понятно, что успехи теории рудообразования неразрывно связаны с развитием горной промышленности. Чем более развита последняя, тем большее количество фактов получает в свое распоряжение исследователь и тем большее количество требований предъявляет промышленность к науке.

В царской России с ее отсталой горной промышленностью, когда, в сущности, отсутствовала добыча многих цветных и редких металлов, не было основных предпосылок к развитию исследований рудных месторождений. К тому же рудная промышленность в значительной своей части была в руках иностранцев, импортировавших в Россию не мало своих специалистов.

Однако, для этого, досоветского периода, мы можем отметить прекрасные исследования отдельных рудоносных районов, произведенные крупнейшими нашими учеными — А. П. Карпинским, К. И. Богдановичем, Е. С. Федоровым, В. В. Никитиным, В. А. Обручевым,

Н. К. Высоцким и др. Исследования эти не мало дали ценного материала для построения теории рудообразования, хотя общий объем подобных исследований был незначителен.

Новые задачи возникли перед нами с началом сталинских пятилеток. Необходимо было в самый короткий срок создать мощную рудную базу, охватывающую все основные виды руд, используемых современной промышленностью. Для решения этой задачи проделана была огромная работа по геологическому изучению рудных районов и отдельных месторождений, одно за другим вовлекавшихся в промышленное использование. И ныне мы можем с гордостью сказать, что по общему состоянию рудной базы и в особенности по перспективам ее дальнейшего развития Советский Союз занимает едва ли не первое место в мире.

Эти успехи, конечно, в значительной мере были обусловлены и громадным размахом геологических исследований в советский период, и обширностью девственных, так сказать, территорий, совершенно не затронутых поисками и разведками в досоветское время. Иначе говоря, фонд легко открываемых месторождений, оставленный нам царской Россией, был очень велик. Но, учитывая всю важность только что указанных обстоятельств, следует отметить, что успехи советских геологов по созданию рудной базы не были бы столь значительны, если бы им не предшествовали крупные достижения советской науки о рудных месторождениях. Достижения эти получили общее признание во время XVII Международного геологического конгресса, происходившего в 1937 г. в Москве. Выставки, доклады наших ученых и экскурсии по районам месторождений показали, что советская геология стоит на высоком уровне. По целому ряду вопросов она не только не отстает, но занимает ведущее положение.

Здесь, пожалуй, не лишним будет остановиться на таком обстоятельстве. Мы начали свои, беспрецедентные по масштабу работы по расширению рудной базы, пользуясь теорией, созданной главным образом трудами западноевропейских и североамериканских ученых. Теория эта была выработана на основании фактов, собранных в Кордильерах, Аппалачах, Саксонских рудных горах, Корнуолле и т. п. областях Северной Америки и Западной Европы, и далеко не охватывала все возможное разнообразие магматогенных рудных месторождений. Уже одно это обусловливало многочисленные ее дефекты и неприложимость в полном ее объеме к решению многих задач, возникавших перед советскими геологами.

Последние на своей громадной территории, заключающей все основные типы рудных месторождений, встретились в отдельных районах с новыми фактами, потребовавшими изменений — и подчас достаточно серьезных — существовавшей теории. Без этого быстрый прогресс в развитии нашей рудной базы был бы, конечно, невозможен. Ниже будет приведен ряд примеров, иллюстрирующих только что сказанное.

Прежде чем перейти, однако, к изложению достижений советских геологов в теории образования магматогенных рудных месторождений, следует сказать несколько слов о самом объекте исследования.

Как уже говорилось, магматогенные рудные месторождения в своем происхождении связаны с образованием различных глубинных изверженных горных пород — таких, как граниты, диориты, габбро и т. п. Породы эти образуются путем остывания и кристаллизации высоко нагретых силикатных расплавов, поднимающихся, в силу тех или иных причин, из глубоких слоев земной коры в более высокие ее горизонты. Эти расплавы, называемые магмой, содержат, помимо того силикатного материала, который слагает наблюдаемые нами изверженные породы, некоторые, в общем небольшие, количества воды, углекислоты, серы, хлора, фтора и других летучих компонентов наряду с различными цветными и редкими металлами. При остывании магмы, при превращении ее в изверженную горную породу, заключенные в ней ценные для нас металлы могут претерпеть различную судьбу. Они могут остаться рассеянными, в виде тех или иных соединений, во всей массе изверженной породы, не дав значительных местных скоплений. Равным образом они могут быть вынесены в ассоциации с летучими компонентами за пределы кристаллизующегося расплава и рассеяться в громадной массе вмещающих пород.

Но возможны и такие геологические условия, при которых рассматриваемые металлы дадут значительные местные концентрации, промышленно уже интересные, дадут то, что мы называем рудными месторождениями.

Так, может случиться, что минералы, заключающие ценные для нас металлы, выделяясь в ранние стадии застывания расплава, будут погружаться на дно магматического резервуара и создавать здесь местные концентрации. Или, наоборот, другие, также промышленно интересные минералы будут кристаллизоваться в самые поздние стадии застывания расплава, что также может повести к образованию месторождений.

Наконец, мыслимы и такие случаи, при которых однородный силикатный расплав, богатый серой и тяжелыми металлами, претерпевает распад (ликвацию) на собственно силикатный расплав и расплав, резко обогащенный сернистыми соединениями тяжелых металлов. Последний, в подходящих условиях, может так или иначе отделиться от силикатного материала или образовать в нем местные скопления.

Все подобные месторождения, возникающие путем кристаллизационной дифференциации расплава или путем его ликвации, называются собственно магматическими месторождениями. Как правило, они располагаются в пределах родственной им магматической породы или в непосредственной от нее близости. Эти собственно магматические месторождения представляют главный источник получения хрома, титана, никеля, платины и других металлов платиновой группы. К собственно магматическим месторождениям большинство исследователей относит и пегматиты — кварцево-полевошпатовые жилы и залежи, рассматривая их как результат кристаллизации остаточных силикатных расплавов. Пегматиты часто несут минералы бериллия, редких земель, лития, ниобия, тантала и других редких элементов, а также слюды и различные драгоценные и полудрагоценные камни. Правда, «облагораживание» пегматитов всеми этими промышленно интересными минералами обычно происходит в результате воздействия на уже сформировавшийся пегматит газовых и жидких продуктов, в некоторой мере близких к тем, что формируют упоминаемые ниже пневматолитовые и гидротермальные образования.

Другой путь возникновения рудных концентраций, путь, который ведет к образованию главной массы магматогенных месторождений, связан с летучими компонентами, содержащимися в магме. Последние, как уже говорилось, выделяются из застывающего расплава в виде газов и паров и выносят вместе с тем многие металлы. В большинстве случаев это ведет к распылению металлов в толще вмещающих пород, но при благоприятных геологических условиях металлоносные газы и пары и возникающие из них в дальнейшем жидкие растворы могут сформировать месторождения. Последние образуют сложную серию типов. Так, близ контактов изверженной породы с вмещающими ее, легко химически реагирующими породами, например, известняками, возникают контактово-метасоматические месторождения, несущие значительные иногда концентрации железа, меди, вольфрама, реже молибдена и других металлов. Проникая

дальше в толщи вмещающих пород или в уже застывшие части интрузии, растворы, в результате все прогрессирующего остывания их, падения давления, взаимодействия с породами, слагающими стенки каналов циркуляции, и т. п., постепенно оставляют свой полезный груз, давая начало возникновению рудных жил и залежей самой различной формы и состава. Месторождения такого способа образования в основной своей массе носят название гидротермальных. Те же из них, в образовании которых, предположительно, преобладающую роль играли газовые растворы, именуются пневматолитовыми. Гидротермальные месторождения являются самым главным источником получения руд благородных, цветных и редких металлов.

Обратимся теперь к рассмотрению того нового, что внесли работы советских геологов в понимание процессов образования магматогенных рудных месторождений. При этом, для удобства рассмотрения, произведем последнее в той последовательности различных процессов, что была обрисована выше. Иначе говоря, рассмотрим сначала собственно магматические месторождения, далее пегматитовые и, наконец, сложную серию рудных образований, возникших главным образом при участии летучих составных частей магмы, выделившихся при ее остывании. Всю эту последнюю серию мы в дальнейшем для краткости будем называть постмагматической. Уместно подчеркнуть условность приведенной классификации, так как, например, летучие играют некоторую (иногда значительную) роль в образовании собственно магматических месторождений. Пегматиты могут возникать и позже контактово-метасоматических месторождений, да и вообще их промежуточное положение между собственно магматическими образованиями и постмагматическими может быть, и не без серьезных оснований, оспорено.

Однако предложенная схема позволяет более выпукло, более систематично рассмотреть интересующие сейчас нас вопросы.

СОБСТВЕННО МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Примерно до конца 20-х годов текущего столетия принято было считать, что образование главной массы этих месторождений, исключая все сульфидные, связано с обособлением рудных минералов на самых ранних стадиях кристаллизации силикатного расплава. Впервые ошибоч-

ность подобного представления с наибольшей убедительностью была показана академиком А. Н. Заварицким на примере платиновых месторождений Урала.

Заварицким же еще в 1926 г. [7] была разработана весьма совершенная классификация магматических месторождений, легшая в основу современных наших представлений о способе образования концентраций платиноидов, хрома, титана и никеля. Месторождения эти А. Н. Заварицкий делит на следующие две главные группы:

А. Месторождения, образовавшиеся путем кристаллизационной дифференциации, приводящей к обособлению и накоплению рудных минералов в процессе кристаллизации магмы.

Б. Месторождения ликвационные, рудное вещество которых своим происхождением обязано ликвационной дифференциации, т. е. обособлению от материнской магмы и концентрации в жидком состоянии еще до начала ее кристаллизации.

Каждая из этих главных групп в соответствии с условиями выделения рудного вещества делится на типы.

В первой из них, в зависимости от того, в какую стадию кристаллизационного процесса выделяется рудное вещество, предлагается различать два типа магматических месторождений:

1) аккумулятивные месторождения, представленные скоплениями рудных минералов, выделившихся в начальную стадию кристаллизации магмы;

2) фузивные месторождения, возникающие в конечные стадии кристаллизации магмы в тех случаях, когда рудное вещество накопляется в остаточном расплаве.

Во второй группе, в зависимости от причин ликвации, различаются также два типа месторождений:

1) «ликвационные месторождения в собственном смысле слова, когда отщепление рудного расплава является естественным процессом при охлаждении магмы, как это имеем в силикатово-сульфидных сплавах»;

2) «синтектически-ликвационные месторождения, когда ликвация происходит под влиянием вплавления боковых пород».

Особенно подчеркивалось значение фузивных месторождений. К физико-химической стороне процесса их образования автор возвращался и позднее (1937).

Предложенная классификация была принята многими исследователями. В том или ином виде она вошла во все курсы учения о рудных месторождениях и оказала большое влияние на дальнейшее изучение магматических рудоносных образований, их разведку и эксплоатацию.

Правильность основных положений новой концепции была доказана результатами многочисленных произведенных советскими геологами исследований магматических месторождений. Упомянем здесь некоторые из этих исследований.

Детальному изучению подверглись платиновые месторождения, в значительном количестве открытые в Нижне-Тагильском дунитовом массиве на Урале (А. Н. Заварицкий [8], А. Г. Бетехтин [1], А. А. Иванов и др.). Исследования показали, что рудные тела имеют самые различные формы, начиная от типичных вкрапленных образований, постепенно переходящих в окружающую породу (дунит), и кончая резко отграниченными жилообразными или столбообразными телами сплошного хромита. Какой-либо закономерности в расположении рудных тел в массиве не подмечается. Минералы группы самородной платины поразительно тесно связаны со скоплениями хромита. Сопоставление условий нахождения, форм рудных тел, особенностей строения и состава рудных скоплений приводит к выводу о том, что образование месторождений платины, вероятнее всего, происходило в результате распада каких-то обособившихся в процессе кристаллизации магмы соединений, содержавших в себе, кроме хрома, железа, платины и магния, также летучие компоненты. Судя по взаимоотношениям рудных тел с вмещающей породой, распад этих соединений происходил в разные, но преимущественно более поздние моменты застывания дунитовой магмы.

Большие работы были проведены по изучению геологии хромитовых, не содержащих платины месторождений (А. Г. Бетехтин, П. М. Татаринов, Г. А. Соколов, С. А. Вахромеев, И. А. Зимин и др.). Эти исследования прежде всего подтвердили взгляды, развивавшиеся еще Фогтом, о магматическом происхождении хромитовых месторождений и привели к заключению, что представления о них, как о метаморфических, возникших одновременно с серпентинизацией (изменением) ультраосновных пород, несостоятельны. Сравнительное изучение месторождений платиноносных и неплатиноносных хромитов показало, что в геслогическом отношении между ними не имеется сколько-нибудь существенной

разницы. Все морфологические типы рудных тел, которые считались присущими месторождениям платины в дунитах, встречаются и среди неплатиноносных массивов ультраосновных пород.

Большинство месторождений, представленных сплошными хромитовыми рудами, приурочено к серпентинизированным дунитовым участкам массивов ультраосновных пород. Взаимоотношения хромитовых рудных тел с вмещающими породами показывают, что главная масса крупных месторождений сформировалась из остаточных рудоносных расплавов в более поздние моменты, но еще до окончания собственно магматического процесса. Об этом говорят также факты пересечения хромитовых рудных тел жилами крупнокристаллических пироксенитов и горнблендитов, играющих роль пегматитов в ультраосновных породах.

Титаномагнетитовые, фузивные месторождения, генетически связанные с пироксенитами и габбро, также являлись предметом специальных исследований (Н. А. Шадлун, И. И. Малышев, П. Г. Пантелеев и А. В. Пэк [18], С. А. Кашин и др.). С промышленной точки зрения руды этих месторождений, помимо железа и титана, представляют интерес и как источник содержащегося в них ванадия, а в некоторых случаях также и меди — типа Волковского месторождения на Урале.

Титаномагнетит как остаточный продукт кристаллизации во вкрапленных рудах является как бы цементом между зернами ранее выделившихся силикатов, или образует жилы вдоль трещин в материнских породах, или, наконец, наблюдается в виде крупных жил, взаимоотношения которых с боковыми породами позволяют допускать внедрение рудного расплава, обособившегося от материнской магмы. Последние по своей форме очень напоминают некоторые хромитовые месторождения, однако структурные особенности руд, как известно, существенно различны, не говоря уже о различии в их составе и генетической связи с разными материнскими породами.

Большие исследовательские работы проведены по изучению месторождений медно-никелевых руд Монче-тундра и Норильского, в низовьях р. Енисея (В. К. Котульский [15] и др.). Исследования эти внесли много нового в наши представления о геологической природе этих месторождений.

Изучение геологической позиции и взаимоотношений рудных тел сплошных сульфидов с боковыми породами в разных типах месторождений

приводит к заключению, что сульфидная магма, обособившаяся путем ликвации, под влиянием тектонических напряжений подверглась перемещению. В одних случаях богатые пирротином (FeS) сплошные руды залегают в виде шлиров в интрудировавшей в верхний горизонт магме ультраосновного состава; в других — сульфидные залежи располагаются в зонах брекчий и всегда заключают в той или иной мере замещенные обломки боковых пород (Печенга). Наконец, в пределах интрузивных тел встречаются типичные жилы сульфидов, не содержащих силикатов, в трещинных полостях контракционного происхождения, ориентированные либо вертикально с постепенным выклиниванием книзу (Мончетундра, Ниттис), либо горизонтально, у дна интрузива, с частичным выходом прожилков во вмещающие породы.

Вкрапленные руды, как правило, приурочены к ультраосновным дифференциатам интрузивов и представляют результат выделения последних порций растворенных сульфидов при кристаллизации этих дифференциатов. Отмечены также случаи образования вкрапленных руд при процессах контактового метаморфизма в сопровождении пироксена и граната, а также весьма оригинальные миндалевидные образования сульфидов, преимущественно халькопирита, в боковых породах, представленных пористыми и пузыристыми излившимися изверженными породами.

ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Пегматиты, занимающие с точки зрения ортодоксальной концепции как бы промежуточное положение между глубинными магматическими породами и рудными месторождениями постмагматического происхождения, привлекали всегда большое внимание. В разгадке их природы многие видят ключ к решению основных вопросов рудообразования. Интерес к пегматитам увеличивается еще и тем, что с ними связаны многие важные полезные ископаемые: полевые шпаты, слюды, кварц, драгоценные камни, минералы бериллия, лития, ниобия, тантала и др. Советские геологи не мало времени посвятили исследованию пегматитов и внесли много нового в понимание их природы.

Выдающимся событием в этой области можно считать появление в 1931 г. большой монографии академика А. Е. Ферсмана «Пегматиты» [24], впоследствии два раза переизданной.

Пегматиты А. Е. Ферсманом рассматриваются как образования, возникшие в результате кристаллизации остаточного, обогащенного летучими компонентами расплава, по составу близкого к материнской магме.

В монографии приведен богатейший материал по самым разнообразным типам пегматитовых образований. Дается подробная характеристика их строения, состава и морфологических особенностей. Детально разобраны ассоциации минералов, характеризующие отдельные стадии процесса пегматитообразования. Большого внимания заслуживает предложенная А. Е. Ферсманом классификация гранитных пегматитов, широко принятая в геологических кругах и оказавшая плодотворное влияние на развитие поисково-разведочных работ. Среди пегматитов и близких к ним образований выделяются две главные группы:

1) пегматиты чистой линии, образовавшиеся среди горных пород, близких по составу к гранитам и потому не оказавших своего влияния на их минералогический состав;

2) пегматиты линии скрещения, возникшие в результате реакции с пегматитовым расплавом боковых пород, существенно отличающихся по своему составу от гранитов.

В каждой из этих групп по характерным химическим элементам и минералам проводится дальнейшее подразделение пегматитов по типам.

Физико-химическая характеристика процесса образования пегматитов дается А. Е. Ферсманом на основе так называемой «теоретической схемы Фогта-Ниггли». В последнее время этот вопрос подвергся детальному критическому рассмотрению со стороны А. Н. Заварицкого, пришедшего иным путем к объяснению процесса образования пегматитов и давшего основные физико-химические диаграммы этого процесса. Подробный разбор и сопоставление особенностей изобарических сечений этих диаграмм приводит к ряду интересных предположений, решение которых требует тщательного дополнительного изучения самих пегматитовых тел. Особое внимание при этом А. Н. Заварицкий обращает на возможную роль газового магматического остатка, получающегося в процессе охлаждения магматической системы. Будучи раствором, насыщенным по отношению к выделившимся минералам, он мог стать серьезным фактором перекристаллизации и образования этим путем крупнокристаллических агрегатов, столь характерных для пегматитовых образований.

Гипотеза А. Н. Заварицкого в значительной мере стирает грань между пегматитами и рудными телами: и те и другие являются, в основном, постмагматическими образованиями. Можно выразить твердую уверенность, что эта гипотеза послужит большим стимулом к изучению пегматитов с новых позиций и поведет к углублению знаний об этих все еще загадочных для нас образованиях.

ПОСТМАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В образовании этих месторождений, как отмечалось, главную роль играют летучие составные части магматического расплава, выделяющиеся при остывании последнего и выносящие различные металлы.

Как происходит отделение этих рудоносных растворов, вначале, вероятно, газовых и далее сгущающихся в жидкие, каков их состав и общий характер, как изменяются они во времени и пространстве на путях циркуляции,— все эти вопросы принадлежат к одним из наиболее важных и в то же время наименее освещенных во всей проблеме рудообразования. Советские исследователи не мало занимались этими вопросами.

Так, самый механизм формирования рудоносных растворов был детально рассмотрен В. А. Николаевым на основе представлений об ограниченной растворимости летучих в силикатном расплаве, основанных главным образом на экспериментах американского исследователя Горансона. В. А. Николаеву удалось показать с большей убедительностью, чем это было сделано ранее Феннером, почти неизбежное отделение газовой фазы (газовых рудоносных растворов) в процессе кристаллизации силикатного расплава.

Но могут ли эти газовые растворы быть достаточно действенными агентами переноса рудообразующих элементов? Некоторое освещение этого важного вопроса дают результаты экспериментов Н. И. Хитарова [26] и Ф. В. Сыромятникова [23]. Их опыты и наблюдения Д. С. Белянкина над газовым переносом кремнезема при технологических процессах подтвердили, что надкритические газообразные растворы действительно способны транспортировать вполне ощутимые количества кремнезема, олова, молибдена и других металлов. Таким образом, были получены новые доказательства в пользу того, что перенос различных нелетучих соедине-

ний в виде подобных газовых растворов может рассматриваться как один из серьезных факторов рудообразования.

В связи с теми же вопросами заслуживают упоминания работы С. С. Смирнова [20, 21] о прерывистости рудообразования, связанного с тем или иным металлоносным очагом. На основании анализа фактических данных о соотношении различных месторождений, составляющих один рудный узел, С. С. Смирнов приходит к заключению о пульсирующем, прерывистом характере дистилляции рудоносных растворов. Особенность эта связывается с многократным возобновлением трещинообразования. В результате циркуляции ранних порций растворов каналы (поры и трещины пород) цементируются рудным материалом, и дальнейшее поступление растворов прекращается, возобновляясь вновь лишь после новой вспышки трещинообразования. И так как состав растворов по мере прогрессирующего охлаждения интрузии, несомненно, меняется, то в итоге и возникают разнообразные минеральные ассоциации, не переходящие, как правило, одна в другую ни в вертикальном, ни в горизонтальном направлениях.

Рассмотрим теперь некоторые интересные результаты наших работ, относящиеся к отдельным группам постмагматических месторождений.

Контактово-метасоматические месторождения. Эти месторождения называют также скарновыми, так как руды их связаны с тяжелыми горными породами — «скарнами», сложенными силикатами железа, кальция и магния, преимущественно гранатом и пироксеном. Развиваются скарновые породы главным образом в контактах известняков с изверженными породами, в результате воздействия газовых и жидких растворов вышеописанного магматического происхождения. Без преувеличения можно считать, что эти контактово-метасоматические, скарновые месторождения являются наиболее сложным типом рудных образований, сложным как для научного понимания, так и для правильной разработки.

Наиболее выдающимся трудом, посвященным научному изучению контактовых месторождений, является монография академика А. Н. Заварицкого «Гора Магнитная и ее месторождения железных руд» [6], послужившая нам основой и образцом для дальнейших исследований контактовых месторождений. В результате необыкновенно детального изучения и описания всех горных пород района месторождения и их

геологических соотношений, автор, вопреки существовавшим до него взглядам на образование руд и скарнов горы Магнитной, пришел к строго обоснованным выводам, которые стали теперь почти общепринятыми. Он показал, что скарны и руды образуются путем замещения (метасоматоза) известняков под воздействием газообразных выделений из кристаллизующейся гранитной магмы, с привносом из нее кремнезема и железа. Одновременно местами происходит замещение и изверженных пород, однако без превращения их в настоящие скарны и руды. Различные минералы образовывались в определенной последовательности, отчасти замещая друг друга: сначала развивались безводные силикаты (пироксен, гранат) и магнетит, позднее водные силикаты и пирит. А. Н. Заварицкий дал первый обоснованный подсчет запасов железных руд горы Магнитной. Этот труд и последующие консультации академика А. Н. Заварицкого легли в основу проектов, а потом и строительства гигантского Магнитогорского металлургического комбината.

Большое количество научных работ по контактовым месторождениям стало появляться у нас с конца 30-х годов, в связи с вводом в эксплоатацию и старых заброшенных, и многих вновь открытых месторождений. В этих работах (М. А. Усов, И. Ф. Григорьев, Ф. Н. Шахов, Г. А. Крутов, Ф. И. Вольфсон и др.) дается ценнейший новый фактический материал и, на основе его, разбираются теоретические вопросы образования этих месторождений. Д. С. Коржинский при изучении уральских скарновых месторождений (преимущественно Турьинских медных рудников) применил своеобразную методику исследования закономерностей ассоциации минералов на основе физико-химических принципов («правило фаз» и др.) и выдвинул новую теорию образования контактовых месторождений. По представлениям этого исследователя, скарны образуются путем реакции известняков с прилежащими к ним силикатными породами, с постепенным проникновением кремнезема силикатной породы в известняк, а извести — в обратном направлении. Это проникновение совершается диффузией через восходящие постмагматические растворы, напитывающие поры пород по пути своего следования и несущие железо и магний. Растворы в высокотемпературных условиях, в каких устойчивы минералы скарнов, не способны переносить на значительное расстояние кремнезем, кальций или глинозем и поэтому сами по себе не способны замещать скарнами известняки или силикатные породы в отдельности, но

способны вызвать реакцию между этими породами в их контактах. Относительные подвижности элементов меняются с понижением температуры. В стадию сульфидного медного оруденения железо уже почти не переносится растворами, приносящими серу и медь, и потому железосодержащие сульфиды (включая медный колчедан) могут образоваться лишь на месте железосодержащих минералов: медноколчеданные руды в контактовых месторождениях образуются по этой причине только замещением богатых железом скарнов.

Пневматолитовые и гидротермальные месторождения. Эта группа рудных образований, в основном состоящая из гидротермальных месторождений, возникших из жидких водных растворов, является наиболее многочисленной и наиболее промышленно интересной. Именно с ней связаны главные массы руд золота, серебра, олова, вольфрама, молибдена, меди, свинца, цинка и др. И легко понять то исключительное внимание, которое уделялось и уделяется изучению и промышленному освоению данной группы месторождений.

В рамках настоящей статьи нет возможности изложить, хотя бы в самом сжатом виде, полученные обильные новые данные, расширяющие наши представления о происхождении гидротермальных рудных образований. Мы остановимся лишь на некоторых исследованиях, наиболее ярко отражающих общее направление научных работ в этой области.

Естественно, что очень много энергии было направлено на выяснение тех тектонических структур вмещающих пород, которые наиболее благоприятны для концентрации руд, иначе говоря — на выяснение тех сочетаний трещин, изгибов пород и т. п., которые, образно выражаясь, могли послужить «ловушкой» для рудных растворов. Работы подобного рода, произведенные П. П. Буровым и Н. Н. Куреком [5] на Рудном Алтае, принесли блестящие практические результаты. Была показана характерная приуроченность руд Риддерского и Сокольного месторождений к куполообразным формам, что дало возможность открыть крупные, слепые (не выходящие на поверхность) рудные тела. В той же связи заслуживает упоминания интересная гипотеза В. М. Крейтера о зависимости характера рудовмещающих трещин от глубины их образования. Намечается своего рода зональность в распределении трещин различного типа.

Сложный вопрос о характере связи между рудами и тесно с ними в пространстве и времени ассоциированными изверженными породами

получил некоторое освещение в ряде работ (И. Ф. Григорьева, Ю. А. Билибина и др.). Большое внимание привлекают полученные Ю. А. Билибиным результаты исследований золотых месторождений Алданской плиты [3], пространственно тесно связанных с небольшими интрузивными телами щелочных пород — сиенитов, нефелиновых сиенитов и т. п. Удалось выяснить, что эти интрузии размещаются преимущественно в верхнем структурном ярусе плиты, представленном горизонтально лежащими нормальными осадочными породами кембрия и юры, и не переходят в нижний ярус, сложенный кристаллическими породами архея. В то же время золоторудные жилы переходят в архейские породы нижнего яруса. Это свидетельствует о том, что первоисточником рудоносных растворов являлись не мелкие интрузии щелочных пород, а какой-то глубинный магматический очаг. Аналогичный характер связи намечается и для своеобразной группы золоторудных месторождений, встреченных во многих районах СССР. Для этих месторождений, характерных выдержанностью комплекса рудных минералов (свободное золото, пирит, арсенопирит и нередкие — шеелит и энтимонит), специфична тесная пространственная связь с мелкими интрузивными телами диоритов. В данном случае приходится также сделать заключение об отсутствии непосредственной генетической связи между этими малыми интрузиями и золотыми рудами.

Из новых данных о природе рудоносных растворов можно упомянуть здесь полученные О. Д. Левицким результаты исследований вольфрамитово-кварцевых жил [17]. Этот исследователь, на основе изучения ряда забайкальских месторождений, пришел к выводу, что формирование некоторых разностей вольфрамовых руд происходило из среды, которая, на определенной стадии рудообразования, представляла слабо подвижный гель кремнезема. В числе других примеров описан случай простой по составу кварцево-вольфрамитовой жилы, заключенной в метаморфизованных сланцах. Жильное выполнение, легко отделяемое от боковой породы, несет на зальбандных плоскостях точный отпечаток трещинок, выпуклостей и тому подобных структурных деталей вмещающих пород. При этом наиболее примечательно, что мелкие полые трещинки в боковых породах отображаются на зальбандных плоскостях в виде четких выпуклостей, валиков. Иначе говоря, наблюдаемая картина довольно определенно свидетельствует о существовании в процессе рудоотложения

рой стадии, в течение которой жильная полость была заполнена студнеобразной массой, настолько вязкой, что она лишь в незначительной мере проникала в открытые боковые трещины.

Много нового внесено советскими исследователями в понимание условий образования колчеданных месторождений, сложенных почти нацело сульфидами железа, меди, цинка и др. Месторождения эти обладают мировым распространением и являются одним из важнейших источников получения меди, цинка, свинца, золота, серы. Относительно происхождения колчеданных месторождений было высказано много гипотез, каждая из которых объясняла лишь часть особенностей этих крайне оригинальных рудных образований. В последние же 10—15 лет принято было считать, что колчеданные залежи и жилы представляют результат гидротермального замещения тех или иных пород и что по условиям образования и дальнейшей истории развития они мало чем отличаются от обычных гидротермальных месторождений. Не будет преувеличением сказать, что эта ортодоксальная точка зрения завела в тупик исследователей колчеданных руд. Новая эпоха началась с того времени, когда А. Н. Заварицким в ряде статей [9, 10] был поднят вопрос о метаморфизме уральских колчеданных залежей.

Поворотным пунктом явилось открытие на Южном Урале месторождения Блявы. Изучение Блявы обнаружило целый ряд признаков, отличавших это месторождение от колчеданных залежей Среднего Урала. Разбираясь в этих отличиях, можно было заметить, что существует тесная связь между самыми основными признаками месторождений: минералогическим составом, структурой, залеганием рудных тел, с одной стороны, и региональным метаморфизмом окружающих пород — с другой. Еще в 1936 г. было сделано предположение, что именно от этого метаморфизма зависят отличия вновь открытого месторождения Южного Урала и давно разрабатывавшихся среднеуральских месторождений. Это казалось тем более естественным, что все месторождения Урала залегают в одной и той же толще вулканических образований, только в разной степени метаморфизованных в разных частях Урала. Была сделана попытка объяснить наблюдающиеся различия в месторождениях с точки зрения этой гипотезы. Ряд особенностей находил себе простое объяснение.

В годы Отечественной войны колчеданные месторождения подверглись новому изучению. Начали поступать многие новые факты, согласно

укладывающиеся в новую гипотезу, которая находит теперь все больше сторонников.

Согласно новым представлениям, возникновение колчеданных залежей происходило в области древнего вулканизма, вероятно во время этой вулканической деятельности и до более позднего превращения вулканических пород в метаморфические зеленые сланцы. Региональный метаморфизм, который произвел эти сланцы, привел к изменению и первоначальных структур руд, и минералогического состава и оказал влияние на форму рудных тел. Первичные признаки сохраняются иногда в виде реликтов (колломорфные структуры, присутствие марказита и вюртцита и т. д.). С метаморфизмом связана и некоторая метаморфическая дифференциация, выразившаяся в перераспределении и переотложении вещества в месторождениях. Она не только создавала новые структуры, но и способствовала появлению в рудных телах обогащенных участков и разнообразных новых форм минеральных агрегатов (прожилки, вкрапленность и т. п.). Среди минералов руды надо различать такие, которые отложены при первоначальном образовании залежи и иногда обнаруживают следы позднейших воздействий или только перекристаллизации, от таких, которые отлагались в том виде, как мы их получили, уже при самом метаморфизме.

Это новое представление не только позволило понять связь между разными колчеданными залежами Урала, но оно находит и более широкое приложение, объясняя многое в происхождении колчеданных месторождений вообще. Этой же гипотезой выдвигается и общая проблема метаморфизма рудных месторождений.

Гипотеза А. Н. Заварицкого явилась стимулом к постановке обширных новых исследований, к пересмотру старых фактов и, можно сказать, наново поставила проблему колчеданных месторождений. Сильнейшее отражение, несомненно, получит она и на характере и направлении дальнейших поисково-разведочных работ.

Значительных результатов добились советские геологи и в вопросах образования оловянных месторождений.

Первоначальные представления о генезисе месторождений олова сложились, как известно, на основе изучения провинции Рудных гор, имеющей многовековую историю освоения. Широкое развитие здесь оловоносных грейзенов, касситеритово-топазовых жил и других рудных

образований, связанных, предположительно, с проявлением газовой фазы, привело к трактовке оловорудных месторождений как характерных представителей пневматолитового типа. Эта точка зрения настолько укоренилась, что касситерит стал рассматриваться как типичный «пневматолитовый» минерал. Подчас присутствие его в рудах считалось достаточным доказательством пневматолитового генезиса того или иного месторождения. И обратно — типичные гидротермальные образования, богатые сульфидами, обычно рассматривались как бесперспективные в отношении оловянного оруденения.

Анализ данных по ряду других оловорудных районов, и прежде всего по новым оловорудным районам СССР, привел к принципиально иному выводу, сыгравшему значительную роль в деле создания отечественной оловянной промышленности и выяснения генезиса оловянных месторождений вообще.

Было установлено крайне важное практическое значение касситерито-сульфидной формации, т. е. группы месторождений, в которых касситерит образовался в типично гидротермальных условиях, в тесной ассоциации с различными сульфидами и подчас сульфосолями. Для иллюстрации значения данной формации достаточно указать, что в настоящее время оловянная промышленность СССР основана главным образом на разработке именно этих, на первый взгляд невзрачных, сульфидных и хлоритовых руд, которые ранее явно и резко недооценивались и, по всей вероятности, неоднократно «пропускались» при поисках.

Вместе с тем было установлено, что появление различных типов оловорудных месторождений не всегда можно рассматривать как отражение последовательных стадий развития единого рудного процесса. И, например, образование касситерито-кварцевых или касситерито-сульфидных рудных тел далеко не всегда является простым следствием меньшего или большего удаления от металлоносного очага. Во многих оловоносных провинциях наблюдается четкое преобладание одного определенного типа оловянного оруденения, одной определенной оловорудной формации, несмотря на то, что рудные проявления связаны с интрузивами, далеко различными по степени эрозионного среза. Причины этого кроются, повидимому, в особенностях состава и условий формирования рудоносных интрузий. В частности, явное преобладание касситерито-сульфидных месторождений обычно наблюдается в областях, которые отличаются

развитием сравнительно гипабиссальных интрузий гранодиоритового ряда. В оловоносных же провинциях, металлоносные интрузии которых представлены гранитами, иногда подчеркнуто кислыми и в общем более глубинными, главное значение приобретают оловоносные пегматиты и грейзены, кварцевые и кварцево-топазовые жилы. Все это вместе взятое приводит к выводу, что касситеритово-сульфидные месторождения далеко не всегда могут упрощенно трактоваться как непосредственное продолжение генетического ряда: оловоносные пегматиты — оловоносные грейзены — кварцево-топазовые жилы — кварцевые рудные тела. Интенсивное региональное проявление оловянного оруденения сульфидного типа имеет место лишь в своеобразных, достаточно специфичных условиях. Это дает основание выделить две самостоятельные, в температурном отношении отчасти параллельные, «ветви» касситеритового оруденения. Первая представлена оловоносными пегматитами и месторождениями касситеритово-кварцевой формации (разнообразными грейзенами, кварцево-топазовыми, кварцево-полевошпатовыми и собственно кварцевыми рудными телами); она охватывает пегматитовую, пневматолитовую и гидротермальную стадии. Ко второй относятся богатые сульфидами и железистыми разностями хлорита или турмалина месторождения касситеритово-сульфидной формации, образование которых происходит в пределах от пневматолитовой вплоть до поздних гидротермальных стадий рудного процесса.

☆

Особенное внимание советских геологов за последние 10—15 лет привлекали вопросы региональной металлогении, вопросы распределения рудных месторождений в пределах тех или иных крупных регионов. Тенденция эта вполне понятна, так как при исключительном развитии у нас поисковых работ особенно была остра необходимость в научно обоснованном прогнозе перспективности тех или иных мало исследованных или вовсе не исследованных территорий.

Подобного рода изучение было проведено почти для всех крупных рудных областей Советского Союза и оказало большую помощь в развитии нашей минерально-сырьевой базы. Для иллюстрации здесь можно привести концепцию о поясовом распределении месторождений олова, вольфрама, золота и др. на огромной территории востока нашей страны.

Концепция эта позволила связать в единое целое разобщенные рудные районы и отдельные месторождения и дала возможность оценить перспективы расположенных между ними обширных, мало исследованных пространств. На несколько тысяч километров, например, протянулась прихотливо изгибающаяся оловорудная зона, недавно еще считавшаяся гипотетической, а сейчас прочно установленная многочисленными открытиями оловянных месторождений.

В дальнейшем представления о металлогении востока СССР были расширены и уточнены на основе концепции о металлогении всего тихоокеанского рудного кольца, грандиозного пояса рудных месторождений, со всех сторон окаймляющих Тихий океан. В частности, в пределах азиатской части этого пояса намечены были две зоны, существенно различные по минерализации: внешняя, собственно континентальная часть пояса, и внутренняя, охватывающая островные дуги Азии и отдельные участки тихоокеанского побережья. В отличие от внешней зоны, богатой оловом и вольфрамом и бедной медью, внутренняя зона характеризуется относительным обилием медных месторождений на фоне слабого проявления оловянного и вольфрамового оруденения. Характерное для этой зоны широкое распространение своеобразных золото-серебряных месторождений, а также локализация в ее пределах интрузий гипербазитов, сопровождающихся местами присущей им минерализацией, еще более подчеркивают различие металлогении обеих зон.

☆

Несколько слов в заключение.

Советские геологи внесли значительный вклад в дело развития теории рудообразования. Последняя, однако, все еще остается далекой от совершенства и недостаточно помогает горняку и геологу в его практической деятельности. Между тем, несмотря на общее благополучное состояние нашей рудной базы и большие перспективы ее дальнейшего развития, перед советскими геологами стоит много важных и трудных задач. Необходимо устранить дефицитное положение в отношении некоторых, пусть немногочисленных, видов минерального сырья; следует улучшить качество уже обнаруженных ресурсов в отношении их сортамента и географического распределения; требуется, наконец, непрерывно

увеличивать запасы руд, чтобы не только восполнять убыль от эксплоатации, но и создавать возможности для дальнейшего расширения горной промышленности.

В успешном решении всех этих задач теории рудообразования, как уже не раз отмечалось, принадлежит важнейшая роль. Очевиден вывод, что необходимо всячески расширять и развивать соответствующие исследования.

Следует также признать, что огромный фактический материал, доставляемый нам все более и более расширяющейся горной промышленностью, обобщается еще недостаточно. И если с этим можно было мириться раньше, когда все силы были брошены на решение первоочередных практических задач и когда фонд легко открываемых месторождений был необычайно велик, то сейчас нет оправданий недостаточности теоретических работ. Особенное же внимание надлежит обратить на развитие экспериментальных работ по вопросам рудообразования. Это, пожалуй, самый отсталый участок в наших исследованиях.

Наблюдая, как с каждым годом прогрессивно увеличивается число исследований, посвященных общим вопросам рудообразования и как неуклонно растет их значение, можно выразить твердую уверенность, что советские геологи успешно решат стоящие перед ними задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. Г. Бетехтин.* Платина и другие минералы платиновой группы. Изд. АН СССР, 1935.
2. *Ю. А. Билибин.* Локализация золотоносности в связи с тектоникой Северо-Востока. Пробл. сов. геол., 1937, № 5—6.
3. *Ю. А. Билибин.* Некоторые интересные черты металлогении Алдана. ДАН СССР, нов. серия, т. 51, 1946, № 6.
4. *Ю. А. Билибин.* Некоторые черты металлогении золота. Зап. Всеросс. мин. об-ва (печатается).
5. *П. П. Буров* и *Н. Н. Курек.* Риддерская группа полиметаллических месторождений на Алтае. Цвет. мет., 1939, № 3, 4—5 и 6.
6. *А. Н. Заварицкий.* Гора Магнитная и ее месторождения железных руд. Вып. 1, ч. 1, 2, 3. Вып. 2. Тр. Геол. ком., нов. серия, вып. 122, 1922—1927.
7. *А. Н. Заварицкий.* О классификации магматических рудных месторождений. Изв. Геол. ком., т. 45, 1926, № 2.

8. *А. Н. Заварицкий.* Коренные месторождения платины на Урале. Геол. ком., вып. 108, Мат. общ. и прикл. геол., 1928.

9. *А. Н. Заварицкий.* Колчеданное месторождение Блява в южном Урале и колчеданные залежи Урала вообще. В кн. «Труды Геол. ин-та АН СССР», М. — Л., 1936, т. 5, стр. 29—65.

10. *А. Н. Заварицкий.* О генезисе колчеданных месторождений. Изв. АН СССР, серия геол., 1943, № 3.

11. *А. Н. Заварицкий.* Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов. Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.

12. *А. Н. Заварицкий.* О промежуточном положении пегматитов между горными породами и рудными телами. Зап. Всеросс. мин. об-ва (печатается).

13. *Д. С. Коржинский.* Образование контактовых месторождений. Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 3.

14. *Д. С. Коржинский.* Петрология Турьинских скарновых месторождений меди. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР (печатается).

15. *В. К. Котульский.* К вопросу о происхождении магматических медно-никелевых месторождений. ДАН СССР, т. 51, 1946, № 5.

16. *В. М. Крейтер.* Некоторые теоретические вопросы структур рудных полей и месторождений. Юбил. сб. Ин-та цветн. мет. и золота (печатается).

17. *О. Д. Левицкий.* Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья. Серия «Месторождения редких и малых металлов СССР», т. II, М.— Л., 1939.

18. *И. И. Малышев, П. Г. Пантелеев* и *А. В. Пэк.* Титаномагнетитовые месторождения Урала. УФАН СССР, 1934, вып. 1.

19. *В. А. Николаев.* Диаграммы равновесия бинарных систем типа силикат—вода и отделение летучих соединений из магматических расплавов. Зап. Всеросс. мин. об-ва, серия 2-я, ч. 74, 1945, вып. 2.

20. *С. С. Смирнов.* Некоторые замечания о сульфидно-касситеритовых месторождениях Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 5.

21. *С. С. Смирнов.* К вопросу о зональности рудных месторождений. Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 6.

22. *С. С. Смирнов* и *В. А. Цареградский.* Северо-Восток Азии, его металлоносность и оловоносность. Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 5.

23. *Ф. В. Сыромятников.* К вопросу о газовом переносе кремнекислоты. Тр. Совещ. по эксперим. минер. и петр., 1934—1935.

24. *А. Е. Ферсман.* Пегматиты. Т. I. Гранитные пегматиты. Изд. АН СССР, 3-е испр. и доп. изд., 1940.

25. *Н. И. Хитаров* и *Л. А. Иванов.* Экспериментальные данные по характеристике водных растворов в области критических температур. Тр. XVII сессии Междунар. геол. конгр., т. V, 1940.

26. *Н. И. Хитаров* и *Л. А. Иванов.* Паровая и газовая фазы системы кремнезем — вода. Сов. геол., 1944, № 2.

27. Хромиты СССР. Сборник работ. Изд. АН СССР, т. I, 1937 и т. II, 1940.

Профессор
И. И. Гинзбург

ДРЕВНЯЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ, ЕЕ МИНЕРАЛЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ


Древней корой выветривания мы называем оставшиеся на месте продукты разложения и выщелачивания пород в результате воздействия на эти породы грунтовых вод и грунтового воздуха в прошлые геологические времена.

Систематическое и планомерное изучение древних кор было начато 10 лет назад, со времени организации в 1936 г. в Институте геологических наук АН СССР, при рудном отделе, специальной группы по изучению древних кор выветривания [14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 47]. Работы этой группы, в сочетании с трудами сотрудников этого же института, по изучению древних россыпей и континентальных отложений [37, 64, 65, 66], зон окисления сульфидных месторождений [50, 59, 61, 62], марганцовых шляп Урала [6], легированных железных руд [29, 30, 31], белых глин Урала [39] и т. д. позволили охватить целый ряд гипергенных процессов, происшедших на Урале в геологическом прошлом, и выявить общие законы развития древних кор, условия их залегания, время образования и т. д.

Эти работы шли параллельно с изучением никелевых и кобальтовых руд Урала, произведенным ВИМСом [2, 45, 53, 54, 57].

За последние несколько лет изучением древних кор стали заниматься филиалы Академии Наук — Западно-Сибирский [25], Уральский

и Казахстанский [63; 7], Академия Наук Азербайджанской ССР [68], Западно-Сибирское и Уральское геологические управления и др.

Если к этому добавить работы Почвенного института АН СССР по изучению современных кор выветривания [40, 41, 42, 43], то нельзя не отметить того огромного размаха, который получили у нас исследования в области древних кор выветривания, и тех практических результатов, которые они уже теперь дали и еще больше дадут в будущем.

Ниже мы познакомим читателя с основными результатами работ, полученными главным образом в Институте геологических наук АН СССР, группой под руководством автора этой статьи.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДРЕВНИХ КОР И СВЯЗАННЫХ С НИМИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Древние коры выветривания на территории Союза ССР пользуются огромным распространением и образуют своеобразные «провинции» и «районы», с которыми связаны те или иные месторождения полезных ископаемых.

Огромной по размеру коалиновой провинцией, служащей основной областью, питающей сырьем нашу огнеупорную, керамическую и бумажную промышленность, является Украинская ССР.

Здесь каолиновая кора выветривания на гранитах, гнейсах, лабрадоритах и эффузивных породах начинается с Волыни и протягивается к Киевщине, где отдельные каолиновые поля занимают площади в сотни квадратных километров (до 400) при мощности до 106 м (Глуховецко-Казатинское поле); оттуда, вдоль правобережья, она проходит через Подолию, Уманскую, Первомайскую, Верхнеднепровскую, Криворожскую, Херсонскую, Николаевскую и Мариупольскую области и заканчивается у Азовского моря.

Одно время казалось, что Украина является единственной классической страной с широко развитой корой выветривания. Однако значительно более интересной и разнообразной, как выяснили исследования последних 10—15 лет, является кора выветривания на Урале.

На Южном Урале изучена и детально разведана огромная провинция никеленосной нонтронитовой коры на ультраосновных породах (Орско-Халиловский, Кемпирсайский и другие районы), служащая

в настоящее время одним из источников никеля для Южноуральского никелевого завода.

Первичные каолины особенно развиты в районе Ори, где встречаются и опализованные разности. Вторичные каолины входят в состав толщ, слагающих юрские и третичные глины Южного Урала. Кора выветривания кроется средне- и верхнеюрскими отложениями, а также и меловыми. Восточная часть Южного Урала примечательна тем, что длинные, вытянутые серпентинитовые массивы не только разложены, но и окремнены. На Южном Урале встречаются эоценовые песчаники, сцементированные опаловым и халцедоновым цементом и пронизанные ходами древних корневищ; они соответствуют аналогичным песчаникам Донбасса.

Необходимо отметить мощные железные шляпы на сульфидных месторождениях Южного Урала (Блява).

В пределах территории главным образом Башкирской АССР мы имеем вытянутые на десятки километров полосы девонских яшм и кремнистых сланцев с залежами бедных марганцовых руд, с поверхности образующих марганцовые шляпы, представленные обогащенными разностями этих руд и обязанные своим образованием тому же древнему выветриванию [6].

Между Южным и Средним Уралом, в пределах Челябинской области, массивы гранитов, сланцев, серпентинитов также покрыты корой выветривания; особенно развиты каолинизированные и гидрослюдистые породы. В пределах зеленокаменной полосы золотосодержащие кварцевосульфидные месторождения вместе с боковыми породами разложены на глубину до 75—100 м в каолиновые и цветные глины с освобождением золота, заключавшегося в сульфидах. Они образуют вытянутые в несколько километров полосы каолинизированных месторождений золота и ряд месторождений огнеупорных глин в Миасском, Чебаркульском и Магнитогорском районах.

Севернее, в районе Верхнего Уфалея, развиты коры выветривания на известняках в виде открытых и подземных карстов совместно с корами выветривания на серпентинитах, тальково-карбонатных породах, порфиритах и др. Сочетание продуктов выветривания этих пород с известняками вызвало образование никелевых силикатных руд района, снабжающих Верхнеуфалейский никелевый завод.

Севернее Верхнего Уфалея начинается обширная провинция железоникелевых и железных руд, где породы разложены до охр и железистых

(галлуазитовых) глин, обогащенных местами никелем, хромом, марганцем и кобальтом. Ряд полос таких же разложенных пород проходит через Полевской и Северский заводы, тянется к Дегтярке, Ревде, подходит к Свердловску и дальше к Невьянску, Верхне-Нейвинску и Тагилу.

На восточной окраине Среднего Урала, ближе к Сибирской низменности (Каменский район), встречаются каолинизированные породы в сочетании с находящимися вблизи на окраинах озеровидных впадин бокситовыми залежами осадочного происхождения, прикрытыми нижнемеловыми отложениями.

Кора выветривания образована здесь за счет рэтских сланцев, и этим определяется нижний предельный возраст ее образования.

На северном Урале заслуживает внимания значительно размытая платиновая нонтронитовая кора выветривания на дунитах верхнеисовских массивов; очень интересны нижнетагильские платиноносные конгломераты (р. Чауж), сцементированные гидросиликатным цементом (β-керолитом), образующимся только в самых низах коры выветривания, что свидетельствует о существовании древней коры выветривания на конгломератах. На этом прииске имеются остатки не менее четырех кор выветривания разного возраста.

Еще севернее каолинизированные и нонтронитизированные коры известны на рр. Ляле, Кушве, в районе Серовска, на рр. Вишере, Ивделе, Лангуре [46].

После Урала и Украины одним из крупнейших центров, где развита древняя кора выветривания, является Казахская ССР. Здесь она, к сожалению, еще слабо исследована. Крупные каолиновые поля известны ниже Семипалатинска, по р. Иртышу (более 10 км протяжения), в Кокчетавском и Акмолинском районах; каолиновая кора известна в районе Джезказгана, медного Коунрада, золоторудных месторождений Степняка, Джеламбета, Сталинска, Бес-Тюбе, Ак-Биите.

Каолины и пеликаниты слагают сопку Кос-Чеку, они известны и на месторождении «Вольфрамовые сопки» [61].

Древняя кора выветривания особенно отразилась на рудных месторождениях золота, меди, молибдена, вольфрама, образовав на них довольно мощные зоны окисления, а на сульфидных месторождениях и зоны вторичного обогащения [61].

Почти все главнейшие жильные месторождения золота находятся среди полей коры выветривания. Мощность коры выветривания местами достигает 75—100 м (Джеламбет). На коре выветривания, а местами на ее остатках, нередко залегают красноцветные глины и бокситы уральского типа (Акмолинская область).

На многочисленных ультраосновных массивах Казахстана развита кора выветривания южноуральского типа с охрами и нонтронитами и с никелевыми месторождениями (Джезказган-Алатауский район). Ряд массивов имеет также, кроме того, и силицифицированную кору (Экибастуз-Улентинский район, Чарский серпентиновый пояс, Мурджикский район, Северное Прибалхашье) [7].

Кора выветривания в Сибири была, вероятно, не менее распространена, чем на Урале и в Казахстане. Но здесь она сильно размыта и часто скрыта под мезо-кайнозойскими отложениями.

Кварцево-каолиновая, каолиновая, каолиновогидрослюдистая и пестроцветная кора выветривания констатирована в Предалтайском плато, на северном склоне Кузнецкого Алатау, в области распространения гранитов Новосибирского кряжа, в Кузбассе, Чулымо-Енисейской, Ненинско-Чумышской и Присалаирской впадинах. Кора развита здесь на самых разнообразных породах: сланцах, аргиллитах, кварцево-серицитовых породах, порфиритах, гранитах и на продуктах переотложения не полностью разложенных первичных кор (неоэлювий) [25].

ВОЗРАСТ ДРЕВНИХ КОР

Древние коры выветривания в истории земли образовывались несколько раз.

1) Несомненно, существуют остатки девонской коры выветривания. Они констатированы в Мариупольском районе (УССР), в скважинах г. Киева (переотложенные каолины), в Воронежском кристаллическом массиве, в Сызрани, в обнажениях на Тимане, в скважинах Ухты.

2) Наиболее широко распространенная кора выветривания и наиболее мощная относится ко времени от верхнего триаса до нижней юры включительно; в некоторых случаях она кончается средней или верхней юрой. Сюда относятся основная часть кор Урала, Казахстана, части Западной Сибири, возможно и части УССР. Климат субтропический и тро-

пический, к концу юры умеренный и влажный. В юре климатические условия на Урале были всюду более или менее одинаковы и кора однотипна на всем Урале.

3) Нижнемеловая кора указывается для Западной Сибири [25] и для некоторых районов Казахстана. Выветривание относительно ослабленное по сравнению с триасово-нижнеюрской корой.

4) Третичные коры весьма распространены, они часто накладываются на более древние коры и нередко их преобразуют. Различают: а) нижнепалеогеновую кору (констатирована для Западной Сибири и УССР) с влажным и умеренным климатом; б) эоценовую, аридную, выразившуюся в появлении цементированных опалом, халцедоном и кварцем песчаников; встречается локально в Южном Урале, Казахстане, Среднем Поволжье, в Донбассе (ее относят здесь к полтавскому ярусу олигоцена), маломощная; в) олигоцен-миоценовую на Урале, маломощную, локальную (гидрослюдистые продукты разложения на кислых и средних породах и охристые на ультраосновных); г) плиоценовую, также маломощную и локальную красноцветную (образование охр, отложение марганцовых окислов).

5) Четвертичные коры весьма маломощны, локально развиты; на Урале отмечаются два типа: охристая кора и карбонатная.

ОБРАЗОВАНИЕ И СОХРАНЕНИЕ ДРЕВНИХ КОР

Условия образования. Для образования мощной коры выветривания с хорошо проработанными зонами должны существовать следующие условия:

1) Поверхность суши должна быть выравненной или почти выравненной, чтобы эрозионные процессы были подавлены, а аккумулятивные имели возможность развиться. Эти условия характеризуют собой платформенную стадию развития суши, длительный тектонический покой, периоды между горообразовательными процессами; последние прерывали образование коры выветривания и вызывали ее размыв.

2) Климатические условия должны быть благоприятны для усиленного разложения пород; наиболее благоприятен влажный субтропический или тропический климат, наименее сухой, холодный. Климатические условия должны быть длительными и постоянными; в этом случае,

даже при менее благоприятных условиях получается хорошо проработанная, значительной мощности кора или зона окисления.

3) Литологический состав и строение пород вместе с климатом определяют минералогический состав продуктов выветривания и мощность отдельных зон и горизонтов в профиле выветривания.

4) В том же направлении, что и климат, влияет рельеф местности, особенно в условиях аридного (пустынного) и семиаридного (полупустынного) климата.

5) Так же влияют и тектонические условия: в депрессиях и тектонически нарушенных участках при прочих одинаковых условиях господствуют более гумидные условия, чем на холмах, буграх и не нарушенных тектоникой участках; поэтому в пределах одного и того же района продукты древнего выветривания и мощность коры могут быть различны.

6) Уровень общего и местного базиса эрозии определяет собою конечную мощность зоны выветривания. Эпейрогенические движения вызывают изменения этого базиса, а в связи с этим опускание одних зон на другие или их подъем.

Значительная мощность древних кор выветривания, их широкое развитие и распространение, приуроченность к определенным стратиграфическим горизонтам, характерный минералогический состав, появление в определенные (платформенные) стадии развития земли позволяют рассматривать их как геологическую формацию.

Образование профиля коры выветривания и его преобразование. Развитие профиля происходит в силу постепенного окисления закиси железа, гидратации, а затем выщелачивания оснований и гидролиза остаточных продуктов, особенно силикатов и сульфатов. С глубиной эти процессы постепенно затухают. Климатические условия влияют на скорость этих процессов, на концентрацию образующихся ионных и коллоидных растворов и на газовый режим атмосферы грунта. С глубиною уменьшается содержание кислорода, а pH увеличивается сверху вниз, к свежим породам, что вызывает соответствующее распределение новообразующихся в коре выветривания минералов. Так, при выветривании серпентинитов в семиаридных условиях в самых нижних частях коры располагаются гидросиликаты магния, выше магнезит, доломит (pH = 8.5), кальцит и арагонит, затем нонтро-

нит, опал и халцедон и, наконец, гидроокислы железа. На щелочных маложелезистых гранитах в гумидных условиях образуются менее сложные профили, состоящие сверху вниз из каолина, гидрослюд, слюд (pH = 8—9) и дресвы.

Сульфидные месторождения в аридных условиях дают сверху вниз: гидроокислы железа, основные сульфаты окиси железа, затем менее основные соли той же окиси, сульфаты окиси железа, сульфаты закиси железа, серу, колчеданную сыпучку; в семиаридных условиях — гидроокислы железа, ярозиты, серу, колчеданную сыпучку; в гумидных — гидроокислы железа; ярозиты не образуются [61].

В начальных стадиях выветривания преобладает щелочной тип выветривания (обилие оснований), в позднейших стадиях в верхних горизонтах все более и более усиливается кислый тип, а щелочной концентрируется в наиболее нижних, менее разложенных горизонтах.

При длительной устойчивости уровня грунтовых вод обособляются отдельные зоны с преобладающими для них минералами. В случае изменения климатических условий и, вместе с ними, уровня грунтовых вод происходит передвижение развившихся зон; при усилении гумидных условий растет, например, в серпентинитах зона охр и галлуазитов за счет нонтронитов, карбонаты постепенно выщелачиваются, нонтрониты могут оказаться нацело разложенными, и зона охр может непосредственно лечь на остатки магнезитовой зоны. Происходит замещение одних минералов другими (преобразованная кора), но при этом нередко все же среди новых минералов остаются реликты более ранних минералов, особенно более устойчивых (опал, халцедон, кварц).

Длительное и неоднократное существование на Южном Урале и в Казахстане аридных или семиаридных условий (в верхнем триасе, эоцене и, вероятно, еще в миоцене) вызвало наличие силицифицированных пород (серпентинитов, пеликанитов, цементных песчаников). С другой стороны, наличие резко гумидных условий в мелу на Среднем Урале и в средней юре на Южном Урале и связанный с этим подъем грунтовых вод вызвали частичное заболачивание коры, вынос образованных в предыдущие эпохи окислов железа и глинозема из коры выветривания (деградация коры) и отложение их в прибрежных частях пресноводных водоемов в форме красноцветных глин, бокситов, бобово-оолитовых железных руд, частично никелевых силикатов и пр.

Сохранение древних кор и формирование ландшафтов. Образовавшиеся коры сохраняются от размыва, если они покрыты последующими осадками или скрыты в депрессиях или трещинах в условиях тектонического покоя или относительно слабого поднятия.

Кора выветривания среди равнинного рельефа с отдельными вершинами и холмами, уцелевшими от выветривания, типа южноуральского или казахстанского мелкосопочника, создает характерный географический ландшафт, связанный глубокими корнями с геологическим прошлым страны, литологией слагающих ее пород и геохимическими процессами, в которых последние участвовали. Минералогический состав самой коры, фазы ее развития, окружающие ее продукты переотложения, состав грунтовых и поверхностных вод в совокупности создают единый, цельный геохимический облик, неразрывный в своих отдельных частях, своеобразный геохимический ландшафт [44], которому соответствует географический.

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ МИНЕРАЛОВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Минералы коры выветривания образуются вследствие разложения ранее образовавшихся в других физико-химических условиях минералов и в результате выпадения из водных растворов. Минералы окисей и гидроокисей двух-, трех- и четырехвалентных элементов обычно являются конечными продуктами разложения, наиболее устойчивыми в условиях существования коры выветривания. К ним относятся минералы кремнезема, окислов и гидроокислов железа, глинозема, гидраты двуокиси марганца.

Минералы гидроокиси железа (гетит $FeO \cdot OH$, гидрогетит $FeO \cdot OH$ и H_2O, гидрогематит $Fe_2O_3 \cdot 0.5H_2O$, гематит Fe_2O_3) образуют в верхних горизонтах ферритную кору (охристую, железняковую), минералы гидроокиси глинозема ($Al(OH)_3$) — латеритную (бокситовую), минералы кремнезема (SiO_2 — опал, халцедон, кварц) — окремненную (силицифицированную) кору. Первые две коры свойственны влажным субтропикам и тропикам, третья — полупустыням и пустыням. Ферритная кора прекрасно представлена на ряде месторождений железных руд Среднего Урала, алитная — типа бокситов — в СССР пока не обнаружена с полной достоверностью, окремненная — широко развита на Южном Урале, в Казах-

стане и частично на Украине (силицифицированные серпентиниты, опализированные и каолинизированные граниты, цементные песчаники).

Карбонаты пользуются в коре выветривания значительным развитием в верхних горизонтах начальных стадий выветривания [41] и в глубоких зонах коры, будучи приуроченными к сухим и пустынным областям. Наиболее обычные карбонаты: кальцит $CaCO_3$, арагонит $CaCO_3$, доломит $CaMgCO_3$ и магнезит $MgCO_3$. В коре выветривания имеет место доломитизация ранее выпавшего магнезита ($MgCO_3 + CaCO_3 \rightarrow CaMgCO_3$) и обратный процесс — раздоломичивание доломита ($CaMgCO_3 \rightarrow CaCO_3 + MgCO_3$), а также замещение кальцитом магнезита ($MgCO_3 \rightarrow CaCO_3$). Карбонаты нередко замещаются кремнеземом.

Основные карбонаты кальция неизвестны, зато основные карбонаты магния и их гидраты (пироаурит и бруньятеллит $MgCO_3 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 2Fe(OH)_3 \cdot 4H_2O$, артинит $MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$, гидромагнезит $3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$) встречаются нередко; обычно они приурочены к наиболее низким зонам коры и переходят в катазону. В коре выветривания отсутствуют карбонаты марганца, железа и глинозема. Особую группу представляют минералы карбонатов натрия (гидраты, основные и двойные соли), а также натрия и кальция. Они образуются в засушливых районах, в бессточных областях. Кальцит в полупустынных и пустынных областях образует на поверхности карбонатные корки небольшой мощности. В более же глубоких инфильтрационных зонах мощность карбонатных горизонтов достигает даже нескольких десятков метров.

На рудных месторождениях развиты: малахит $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, азурит $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, а также карбонаты цинка, свинца и др.

Сульфаты (мелантерит $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, пизанит $(Fe, Cu)\ SO_4 \cdot 7H_2O$, халькантит $CuSO_4 \cdot 7H_2O$, ярозит $K_2Fe_6\ (OH)_2\ (SO_4)_4$ и др. развиты среди железных шляп сульфидных месторождений. В древних корах гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ является продуктом позднейшей инфильтрации. Сульфатные коры с тенардитом Na_2SO_4, глауберитом $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$, эпсомитом $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и др. свойственны прибрежным частям высыхающих мелководных впадин, солончакам.

Фосфаты. Если не считать фосфаты, которые встречаются среди рудных месторождений (фосфаты свинца, цинка, меди, марганца) или же связаны с редкими элементами, то из продуктов коры выветривания наиболее интересны инфильтрационные, осаждающиеся на известняках

в виде каллофана, а также различные фосфаты окислов железа, например, вивианит $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, и глинозема — вавелит $4AlPO_4 \cdot 2Al(OH)_3 \cdot 9H_2O$, эвансит $Al_3(OH)_6 \cdot PO_4 \cdot 17H_2O$ и др., которые редко образуют значительные выделения и находятся в рассеянном состоянии или в виде небольших гнезд, линз, прожилков.

Галогениды (хлориды, бромиды и иодиты) в корах выветривания встречаются среди железных шляп сульфидных месторождений: в сухих областях—кераргирит $AgCl$, эмболит $AgCl$, Br, атакамит $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$ и др., а также в солонцах и в бессточных областях с аридными условиями.

Гидросиликаты. После окислов и гидроокислов наибольшим распространением в коре выветривания пользуются гидросиликаты железа, алюминия, магния; гидросиликаты кальция крайне редки, марганца — вовсе не образуются. Гидросиликаты встречаются в коре выветривания в виде стадийных продуктов разложения магматических, гидротермальных и метаморфических силикатов и в виде конечных продуктов разложения или же выпадения из растворов.

К последним двум относятся глиноземистые силикаты, крайне распространенные в корах выветривания:

Каолин . . . . $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
Монтмориллонит . . . $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O$
Бейделлит . . . . . . $Al_2O_3 \cdot 3{-}3.5SiO_2 \cdot 4H_2O$
Галлуазит . . . . . . $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$
Аллофан . . . . $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$

Так же широко распространены и аналогичные им железистые силикаты, где вместо Al_2O_3 находится Fe_2O_3; сюда относятся: ферригаллуазит, ферримонтмориллонит, феррибейделлит и ферриаллофан. Второй и третий минералы фигурируют нередко под общим названием «нонтрониты».

Не менее часто встречаются и магниевые гидросиликаты:

Сепиолит . . . $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$
Керолит . . . $MgO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$
Девейлит . . $4MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$
β-палыгорскит $2MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 5H_2O + 4H_2O$

Обычная форма всех этих силикатов: чешуйчатая, волокнистая, колломорфная; сложение: землистое, глинистое, фарфоровидное; твердость

небольшая: 2—3; цвет: светлый — для глиноземистых и магнезиальных разностей, желтый, зеленовато-желтый и бурый — для железистых. Они встречаются в чистом виде, отдельно друг от друга, или смешанными между собой, образуя то, что в общежитии обычно называется «глинами».

Вместе с ними встречаются слюды: калиевые (мусковиты), магниевые и магнезиально-железистые (биотиты), и хлориты (хрупкие слюды) магнезиально-глиноземистого состава. Обычно эти слюды и хлориты встречаются то более, то менее выветрелыми, т. е. такими, где основания, находящиеся в этих слюдах (калий, магний), частично вынесены и замещены водородом и водой.

Подобные выветрелые разности называются «гидрослюдами, гидробиотитами и гидрохлоритами, также вермикулитами и джефферезитами». При дальнейшем выносе щелочей и магния в них отщепляется часть кремнезема, железо окисляется и вместе с алюминием переходит из четверной валентной связи, где они замещали кремний, в шестерную координацию, постепенно превращаясь в глиноземистые или железистые глины.

Эти переходные минералы называют «стадийными»; они образуют самостоятельно или вместе с конечными продуктами слюдистые глины.

pH образования гидросиликатов и интервал их существования различен: в наиболее кислых средах образуется каолинит, поэтому он встречается обычно в зонах с гумидным климатом от севера до тропиков, только в более теплых и влажных климатических зонах скорость и мощность каолинообразования возрастает настолько, что образуются целые месторождения. Отсюда — широкое распространение каолиновых кор. Особенно интенсивно они развиваются на породах, содержащих легкорастворимые основания (K, Na): на гранитах, гнейсах, слюдистых сланцах и т. д., так как в этих условиях в коре выветривания при достаточном количестве влаги очень легко и чрезвычайно быстро вымываются легкорастворимые основания и создается кислая среда. Монтмориллонит и бейделлит требуют для своего образования щелочной среды, поэтому они особенно развиваются в условиях более сухого климата; наличие в породах труднорастворимых оснований (Ca и Mg), дольше остающихся среди продуктов выветривания, особенно способствует появлению этих кор, поэтому они чаще всего встречаются на диабазах, габбро, серпентинитах и пр. При одинаковых, не особенно резко выраженных гумидных условиях на гранитах может образоваться каолин, а на рядом

53*

находящихся диабазах и габбро — галлуазит, требующий нейтральной или почти нейтральной среды, временно создающейся труднее растворимыми основаниями. Железистые монтмориллониты и бейделлиты (нонтрониты) и такие же галлуазиты формируются при несколько менее щелочной среде, чем их глиноземистые разности, поэтому они образуются часто из темноцветных, магний и железо содержащих минералов основных и ультраосновных пород: пироксенов, амфиболов, серпентинитов и пр.

Уменьшение pH среды как при стадийном развитии профиля выветривания, так и при изменении климатических условий (увлажнении) вызывает переход (разложение) более щелочных минералов в более кислые: монтмориллониты переходят в галлуазиты, последние — в каолиниты или гиббситы, нонтрониты — в ферригаллуазиты, а затем и в гидроокислы железа. Так как в течение тех огромных промежутков времени, которыми располагала кора выветривания (особенно триасово-нижнеюрская или юрско-нижнемеловая), климат не оставался постоянным, а часто менялся, то редко можно встретить кору выветривания одного типа, — обычно всегда на нее в большей или меньшей степени накладывается другая, что отражается на наличии переходных кор в виде гетит-гидрогетит-галлуазитовой, галлуазит-монтмориллонитовой, каолинито-галлуазитовой, каолинито-серицитовой и т. д.

Некоторые свойства минералов коры. Минералам коры выветривания большею частью свойственны чешуйчатые, волокнистые и колломорфные формы. Последние под микроскопом или рентгенографически в огромном большинстве случаев оказываются все же кристаллическими. Детальный седиментационный анализ показывает, что не только коллоидных, но и предколлоидных фракций в продуктах древних кор выветривания оказывается немного, в сумме не более 20%, а часто 10% и меньше. В корах выветривания серпентинитов наиболее тонким минералом оказываются гидроокислы железа (охры), за ними по крупности следуют нонтрониты и т. д. Минералы коры выветривания характерны также тем, что в огромном большинстве случаев они кристаллизуются в системах низких симметрий, особенно часто в моноклинной или в тригональной; если не считать легкорастворимых солей и самородных элементов, то минералы правильной и квадратной систем здесь почти не известны, минералы ромбической системы часто неустойчивы (например, арагонит).

Целый ряд минералов являются полиморфными, часто ди- или триморфными; в этих случаях одна из полиморфных разностей характерна для коры выветривания, например каолинит и гидротермальный диккит и накрит, а также монтмориллонит и пирофиллит, α и β-керолит (установленный нами), всякие разновидности карбонатов и кварца и т. п.

Следующей характерной особенностью этих минералов является то, что в их решетках Al и Fe обычно находятся не в четверной координации, замещая Si, а в шестерной, и превращения первичных минералов в минералы коры частично заключаются в переходе Al и Fe из четверной в шестерную координацию (полевой шпат→мусковит→каолин) (соответственно 2—1—0 атомов Al замещают в решетке атомы Si).

СТАДИЙНОСТЬ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Стадийность выветривания выражается в существовании как переходных стадий при превращении первичных минералов в минералы конечных продуктов выветривания, так и переходных зон в профиле выветривания от свежей породы к наиболее разложенной верхней зоне профиля. Стадийные минералы образуются с разрушением решетки первичного минерала в случае более плотной упаковки или же образования минерала с новой решеткой, принципиально отличной от решетки исходного минерала. Наряду со случаями полного разрушения решетки минерала и создания из ее обломков (комплексов) вместе с привнесенными ионами новой решетки, в слоистых решетках особенно отмечается частичная замена оснований водородными ионами или некоторыми катионами (параллельно с гидратацией минерала), а также переход алюминия и железа из четверной в шестерную координацию (валентную связь), отщепление части SiO_2, переслаивание остатков первичных минералов с вновь образованными.

Так возникают минералы переменного состава [59]: группа гидрослюд, гидрохлоритов, гидробиотитов, в разной степени гидратированные или обезвоженные окислы, ряд основных и двойных солей и пр.

Прогрессирующее изменение стадийного минерала доходит до состояния, когда решетка его разрушается и образуется новый минерал, хотя и с близкой, но все же новой решеткой. Количество стадийных минералов и длительность их существования определяются pH водной среды,

в которой они развиваются. В определенных условиях pH ряд стадийных минералов может не образоваться, и переходы одних минералов в другие становятся резкими [18 и 21].

Распределение минералов в профиле определяет собою зональность профиля. Его развитие определяется внешней средой (кислотностью поступающих грунтовых вод) и внутренней (составом пород). При огромной мощности кор выветривания (от 60 до 200 м и более) в них создается своя физико-химическая область, чутко реагирующая на всякие изменения как концентрации раствора, так и газовой составляющей грунта. Поскольку эти условия не изменяются и направлены в одну сторону от разбавленных растворов к насыщенным, профиль развивается от накопления кислых минералов в более высоких горизонтах до щелочных — в более низких, пока не выработается зрелый профиль (до границы зоны насыщения).

ОБРАЗОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Древнее выветривание приводит к концентрации ряда минералов в результате разнообразного рода процессов, совершающихся в коре. Сюда относятся:

1) Высвобождение самородных металлов и некоторых минералов при разложении пород, без значительного изменения их первоначального состава: образование элювиальных месторождений платины и платиновых металлов, золота, титанистого железняка, касситерита, монацита, граната, графита и др.

2) Оставление одного из компонентов пород в результате выщелачивания остальных: образование доломитовой муки из доломитизированных известняков или из известковых доломитов, маршаллита из кварцитов и окварцованных пород, песков из разнообразного рода песчаников.

3) Образование новых минеральных концентраций в результате окисления первичных: мартитовых руд из магнетитовых, гематитовых — по сидериту, повеллитовых — по молибдениту, серных — по гипсу и пр.; сюда же относятся окисление органических соединений, нефтей в залежи кира, асфальтитов, озокерита и пр.

4) Концентрация остаточных гидросиликатов и полуторных окислов в результате процессов разложения первичных силикатов: а) месторож-

дения каолина, монтмориллонита, нонтронита, сапонита и др.; б) месторождения охр, железных руд, красок, марганцовых шляп, бокситов (в тропиках).

5) Выпадение из растворов, образующихся в коре выветривания: а) образование зон цементации, отличающихся высоким содержанием металлов, в железных шляпах сульфидных месторождений в их нижних горизонтах и малахита, азурита и др. — в верхних; б) выпадение в зонах смятия и трещинах ультраосновных пород «аморфного» магнезита в форме отдельных залежей.

6) Осаждение минералов из растворов коры выветривания в присутствии карбонатных пород (известняков, доломитов).

Образование (с метасоматозом или без него): а) силикатноникелевых руд уфалейского типа (без замещения); б) карбонатных и силикатных руд цинковых и свинцовоцинковых (с метасоматозом); в) окремнелых известняков (замещение последних кремнеземом).

7) Инфильтрация в кору выветривания или в рыхлые породы растворов с окружающих пород или с более удаленных участков.

Образование (без метасоматоза): а) железистых и марганцовых песчаников и конгломератов; б) кобальтомарганцовых шляп в корах, состоящих из гидратов окислов железа или нонтронитов; в) медистых песчаников (?), ванадиевых и др.; г) цементных (динасовых) песчаников; д) обогащение никелем железных руд, нонтронитов и карстовых заполнений.

Образование (с метасоматозом): а) железных руд на карбонатных породах ниже или выше уровня грунтовых вод, а также на окремнелых породах; б) силицифицированных пород (серпентиновых, карбонатных); в) фосфатизированных известняков и др.

В природе процессы концентрации металлов и минералов происходят, конечно, не только по одной из указанных схем, но и в сочетании нескольких, одновременно или разновременно (при наложении или преобразовании).

Образование тех или иных полезных ископаемых приурочено к эпохам, когда формировались наиболее мощные коры или когда они наиболее интенсивно преобразовывались. Так, нонтронитовые никельсодержащие руды образованы в течение юры, преимущественно нижней; остаточные железные руды приурочены к средней и верхней юре до нижнего мела включительно и, кроме того, к олигоцен-миоцену; марганцовистые

кобальтосодержащие руды — к миоцену и плиоцену на Среднем Урале и, вероятно, к нижнему мелу на Южном Урале; деградация латеритов на Среднем Урале относится к нижнему мелу, на Южном Урале —к средней и верхней юре; окремнение соответствует верхнему триасу, эоцену и, частично, еще более позднему времени; монотермитовые глины принадлежат к третичному, каолиновые — к юрскому периоду [39].

Значение месторождений полезных ископаемых коры выветривания. Теоретически в коре выветривания должны существовать все 92 элемента; в действительности участие в процессе выветривания и в миграции в коре доказано пока для 48 элементов; 6 элементов находятся еще под сомнением. Концентрации в коре выветривания безусловно образуют только 34 элемента (подчеркнуты), остальные присутствуют как реликты или их миграция и роль в коре выветривания пока еще не ясны.

I и II	1 и 2	H, Li, Be (?), B, C, O, F	V	6	Rb, Sr, Zr, Mo, Pd, Rh (?)
				7	Ag, Cd, In (?), Sn, Sb, Te (?), J
III	3	Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl	VI	8	Cs, Ba, W, Pt (?), Ce
IV	4	K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni		9	Au, Hg, Pb, Bi
			VII	10	Ra, U
	5	Cu, Zn, Ga, As, Se (?), Br			

(Расположены по горизонтальным рядам таблицы Менделеева)

Таким образом, $^1/_3$ всех элементов менделеевской таблицы дает в древних корах выветривания повышенные концентрации, причем к этим элементам относятся все наиболее важные для человечества. Отсюда ясны роль и значение древних кор.

Ценными качествами месторождений коры являются их широкая распространенность, местами высокая концентрированность содержания того или иного элемента, обычная небольшая глубина залегания, чрезвычайная рыхлость, частое залегание над уровнем грунтовых вод, нередкое отсутствие вредных или посторонних примесей, переходы в коренные рудные залежи. Однако неправильные и часто капризные мощность и форма залегания, неравномерность в содержании полезного или вредного компонента, трудность обогащения некоторых типов руд и чрезвычайно

варьирующий объем отдельных залежей не благоприятствуют эксплоатации месторождений коры.

Если раньше отдельные полезные ископаемые и месторождения поверхностного генезиса изучали вне всякой зависимости от общих закономерностей развития древних кор выветривания и друг от друга, то развивающееся в СССР за последние 10—11 лет учение о корах выветривания позволяет подвести под него общую, теоретически, геолого-геохимически и минералогически обоснованную базу, прогносцировать нахождение кор, предсказывать возможный состав их и свойства, направлять поисковые и геологоразведочные работы и этим умножать минеральные ресурсы нашей родины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. Н. Алешков.* О возрасте коры выветривания на Южном Урале. Природа, 1941, № 1.
2. *А. А. Амирасланов.* Минералогическая характеристика колчеданных месторождений Урала. Тр. ВИМС, вып. 121, 1937.
3. *П. Л. Безруков* и *А. Л. Яншин.* Юрские отложения и месторождения бокситов на Южном Урале. Тр. Ин-та геол. и минер., 1934, вып. 7.
4. *Л. С. Берг.* Жизнь и почвообразование на докембрийских материках. Природа, 1944, № 2, стр. 28.
5. *Л. С. Берг.* Почвы и водные осадочные породы. Почвоведение, 1945, № 9—10.
6. *А. Г. Бетехтин.* Южноуральские марганцовые месторождения как сырьевая база Магнитогорского металлургического комбината имени Сталина. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 30, 1940.
7. *И. И. Бок.* Серпентинитовый массив Шайтантаз. Диссертация. Фонды Казахской АН, 1943.
8. *В. А. Варсонофьева.* Месторождения каолиновых глин в Кунгурском, Красноуфимском и Соликамском уездах Пермской губ. Материалы комиссии для изучения естеств. производит. сил при Акад.Наук, № 64, 1927.
9. *Е. М. Великовская.* Бокситы Северо-Восточного Казахстана. Сб. «Бокситы». Тр. ВИМС, вып. 3, ч. 2, 1936.
10. *В. И. Вернадский.* История природных вод, ч. I, 1933.
11. *И. И. Гинзбург.* Каолин и его генезис. Изв. Пет. политехн. ин-та, 1912.
12. *И. И. Гинзбург.* Пеликаниты и каолины Юго-Западной и Южной России. Изв. Пет. политехн. ин-та, 1914.
13. *И. И. Гинзбург.* К генетике глин Украины. Вестник Укр. геол. к-та, 1926.
14. *И. И. Гинзбург.* Геохимия коры выветривания на серпентинитах Южного Урала. Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 1.

15. *И. И. Гинзбург.* Монтмориллонитовый и галлуазитовый тип выветривания. Тр. Ин-та геол. наук, вып. 41, 1941.
16. *И. И. Гинзбург.* О теории происхождения месторождений гидросиликатного никеля А. Н. Алешкова. Изв. АН СССР, серия геол., 1941.
17. *И. И. Гинзбург.* Основные итоги работ группы коры выветривания. Металлогения Урала. Изд. СОПС АН СССР, 1941.
18. *И. И. Гинзбург.* Стадийность процессов выветривания минералов. Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. Сборник, посвящ. памяти А. Е. Ферсмана, изд. АН СССР, 1946.
19. *И. И. Гинзбург.* Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала, часть III. Минералогия (сдана в печать).
20. *И. И. Гинзбург.* Древняя кора выветривания на Урале. Минералогия Урала, т. I, изд. АН СССР (печатается).
21. *И. И. Гинзбург.* Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала часть II. Геохимия и геология. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 81 (печатается).
22. *И. И. Гинзбург, И. И. Савельев.* Образование никелевых силикатных руд на Южном Урале. Сов. геол., 1939, № 8.
23. *И. И. Гинзбург, И. И. Савельев, И. З. Корин, А. Л. Кац* и др. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала, часть I. Типы и морфология древней коры, Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 80, 1946.
24. *П. А. Земятченский.* Выветривание полевых шпатов в связи с почвообразованием. Тр. Почв. ин-та, т. VIII, 1933, вып. 1.
25. *В. П. Казаринов.* Опыт генетической классификации огнеупорных и тугоплавких глин в Западной Сибири. ДАН СССР, т. II, 1946, № 8.
26. *А. Л. Кац.* Сравнительная характеристика продуктов выветривания ультрабазитов и хлоритов в образовании обогащенных никелем участков на Шелектинском месторождении. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 41, 1941.
27. *И. З. Корин.* Халиловское месторождение никеля и условия его образования. Изв. АН СССР, серия геол., 1939, № 2.
28. *И. М. Крашенинников.* Древняя кора выветривания лесостепного Зауралья. Изв. Докуч. почв. к-та, 1915, № 3.
29. *Б. П. Кротов* и др. Железорудные месторождения Алапаевского типа, т. I и II, Изд. АН СССР, 1936.
30. *Б. П. Кротов.* О времени образования железорудных месторождений Урала. Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 4.
31. *Б. П. Кротов, Г. И. Теодорович, М. И. Калганов* и др. Халиловские месторождения комплексных железных руд. Тр. Ин-та геол. наук, вып. 67, 1942.
32. *В. И. Лебедев.* К проблеме каолинового ядра. ДАН СССР, т. 61, 1946, № 1.
33. *Б. Л. Личков.* К вопросу о климатах прошлого земли и ископаемых пустынь. Изв. Тадж. филиала АН СССР, 1944, № 4.
34. *Б. Л. Личков.* Осадкообразование, его причины и следствия. Почвоведение, 1944, № 1.
35. *В. И. Лучицкий.* Вестн. Укр. геол. ком., 1926.

36. *М. П. Нагорский.* К вопросу о генезисе коры выветривания Салаира. Вестн. Зап.-Сиб. упр., 1940, № 3—4.
37. *К. В. Никифорова.* Изучение истории континентального развития восточного склона Южного Урала. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, 1940, вып. 53.
38. *Б. Ф. Петров.* Древняя кора выветривания и послетретичные отложения западной части Кузнецкого Алатау. Тр. Почв. ин-та АН СССР, т. XIX, 1939, вып. 4.
39. *В. П. Петров.* Белые глины Урала. Диссертация. Фонды ИГН АН СССР, 1946.
40. *Б. Б. Полынов, В. В. Романов* и *А. И. Троицкий.* Почвы черноморского берега Аджарии. Тр. Почв. ин-та АН СССР, т. VIII, 1933, вып. 4.
41. *Б. Б. Полынов.* Кора выветривания. М., 1934.
42. *Б. Б. Полынов.* Почвы советских субтропиков. М., 1936.
43. *Б. Б. Полынов.* Красноземная кора выветривания и ее почвы. Почвоведение, 1944, № 1.
44. *Б. Б. Полынов.* Геохимические ландшафты. Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. Изв. АН СССР, 1946.
45. *В. Н. Разумова.* Минералогия и геология Кимперсайского никелевого месторождения на Южном Урале. ВИМС, фонды ИГН АН СССР, 1946.
46. *И. С. Рожков.* Мезозойские россыпи Среднего и Северного Урала. Металлургиздат, 1945.
47. *И. И. Савельев.* Роль микрорельефа в образовании никелевых месторождений силикатных руд на Южном Урале. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 41, 1941.
48. *И. Д. Седлецкий.* Классификация минералов коры выветривания, Сов. геол., 1941, № 3.
49. *И. Д. Седлецкий.* Коллоидно-дисперсная минералогия. Изд. АН СССР, 1945.
50. *С. С. Смирнов.* Зона окисления сульфидных месторождений. 1936.
51. *Н. М. Страхов.* Климатическая зональность в верхнем палеозое на северо-западе Евразии. Сов. геол., 1945, № 6.
52. Труды XVII сессии Международного геологического конгресса 1937 г. М., т. 6 (симпозиум по палеоклиматам — статьи ряда авторов).
53. *Д. Т. Ульянов, Г. С. Грицаенко, Г. А. Крутов* и др. Месторождения силикатно-никелевых руд Орско-Халиловского района. Тр. ВИМС, вып. 118, 1937.
54. *Д. Т. Ульянов, М. И. Осадчий* и др. Кобальтоносные руды Урала. Тр. ВИМС, вып. 167, 1940.
55. *М. А. Усов.* Формации месторождений полезных ископаемых Салаира. Вестн. Зап.-Сиб. ГРТ. 1933, вып. 6.
56. *П. Фагелер.* Основы учения о почвах субтропических и тропических стран. Советская секция Международной ассоциации почвоведов. М., 1935.
57. *Б. М. Федоров.* Бокситы Среднего Урала и условия их образовния. Бокситы. Тр. ВИМС, вып. 3, ч. 1, 1936.
58. *А. Е. Ферсман.* О характере гипергенных процессов в местностях с пустынным климатом. ДАН СССР, 1924.
59. *А. Е. Ферсман.* Геохимия, т. II, 1934.

60. *А. В. Хабаков.* Доюрский рельеф и древняя кора выветривания в южной части Южного Урала. Изв. Геогр. об-ва, т. XVII, 1935, вып. 2.
61. *Ф. В. Чухров.* Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана, т. I и II. Диссертация, фонды ИГН АН СССР, 1946.
62. *Т. Н. Шадлун.* Зона окисления колчеданных месторождений Блява на Южном Урале. Диссертация. Фонды ИГН АН СССР, 1944.
63. *Е. Д. Шлыгин.* Кора выветривания Северо-Восточного Казахстана. Пробл. сов. геол., 1936, № 10.
64. *Е. Н. Щукина* и *К. В. Никифорова.* Континентальные мезозойские отложения восточного склона Среднего и Южного Урала и стратиграфическое положение среди них россыпей. Рукопись. ИГН АН СССР, 1941.
65. *Е. Н. Щукина.* Геология и геоморфология коры выветривания Среднего Урала. Бюлл. Моск, об-ва исп. природы, отд. геол., т. XXI, 1946.
66. *А. Л. Яншин.* Континентальные юрские отложения Урала. Объяснительная записка к геологической карте Урала в масштабе 1 : 500 000. 1934.
67. *А. Л. Яншин.* Условия залегания и генезис бокситов Южного Урала, Казахстана и Восточной Сибири. Тр. Конфер. по генез. железн. и алюмин. руд АН СССР, 1937.
68. *Т. Х. Эфендиев.* Никеленосность ультраосновных пород Азербайджана. АН АзССР, 1945.

Профессор

Б. П. Кротов

МИНЕРАЛОГИЯ И ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУД АЛЮМИНИЯ, ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА



В связи с проблемой индустриализации страны и обеспечения Союза всеми необходимыми для промышленности металлами отечественного происхождения в течение сталинских пятилеток были поставлены обширные научно-исследовательские работы для открытия в пределах Союза собственных месторождений недостающих металлов и для расширения запасов некоторых руд. Научно-исследовательские работы были проведены в трех направлениях: установление геологических предпосылок для постановки поисков новых месторождений или прогноза их; всестороннее изучение отдельных месторождений и разведка их; обобщение полученных данных о закономерностях образования и распределения месторождений в пределах Союза.

Проведенные работы дали очень важные результаты в отношении алюминия, железа и марганца. Были открыты новые месторождения этих руд — осадочного происхождения. Осадочными называют месторождения, возникающие путем осаждения рудного вещества из водных растворов в озерах и морях, а самые месторождения называются озерными осадочными и морскими осадочными месторождениями.

Особенно блестящие результаты были получены по алюминию. В царской России не было известно месторождений алюминиевых руд. Первые месторождения этих руд были открыты после революции,

в Тихвинском районе и на Урале. Крупные месторождения еще не были обнаружены, и неясно было, где ставить поиски их. Проблема алюминия в СССР была разрешена академиком А. Д. Архангельским. На основании собранных данных и литературных материалов он пришел к выводу, что месторождения алюминиевых руд, так называемые бокситы, образовались в СССР путем осаждения рудного вещества вдоль берегов, в озерах и морях, и потому поиски новых месторождений нужно ставить вдоль берегов древних морских бассейнов и в отложениях древних озер (А. Д. Архангельский. Типы бокситов СССР и их генезис. Труды Конференции по генезису руд железа, марганца и алюминия, изд. АН СССР, 1937). В таких местах Архангельский организовал поиски новых месторождений бокситов в разных районах Союза: на Южном и Среднем Урале, в Казахстане — на Енисейском кряже.

В результате этих работ был открыт ряд новых месторождений бокситов, и этим полностью была подтверждена правильность теории Архангельского об условиях образования бокситов (сб. «Бокситы», изд. ВИМС, 1937). Разведки обнаруженных месторождений выявили в Союзе солидные запасы бокситовых руд, позволившие построить несколько заводов для переработки бокситовых руд и таким образом создать в Союзе собственную алюминиевую промышленность.

Наиболее крупные месторождения морских бокситов были открыты в северной части Среднего Урала, на восточном склоне хребта, где они тянутся длинной полосой в Ивдельском, Надеждинском, Богословском и Нижне-Туринском районах. Полного описания этих месторождений еще нет. Более подробные сведения имеются о месторождении Красная Шапочка близ пос. Петропавловского. Бокситы залегают здесь в виде пласта среди известняков нижнедевонского возраста. Рудный пласт внизу имеет обломочное строение из кусков известняка, спаянных бокситовым цементом; выше залегает красный бобовый боксит с раковистым изломом; он сменяется кверху серым бокситом с включениями серного колчедана и пестроокрашенным бокситом. Бобы — шарики диаметром до 2 мм — состоят из смеси диаспора и окиси железа (гематит, гидрогематит, реже магнетит); цемент образован из сплошной массы гидроокислов железа и алюминия, среди которой встречаются выделения одноводного гидрата окиси алюминия (диаспор и бёмит).

Бокситы озерного происхождения находятся на Урале и в Сибири.



А. Архангельский

Они возникли в течение мелового периода и образуют группы сравнительно мелких месторождений. Бокситовые руды имеют также бобовое строение, но отличаются более крупными размерами бобов и составом бокситового минерала, который здесь представлен трехводным гидратом окиси алюминия (гидраргиллит). Более изучены бокситовые месторождения Каменского района на Среднем Урале.

Значительные успехи были достигнуты в СССР и в деле изучения осадочных месторождений железных руд. Прежде всего были проведены обширные разведочные работы для выяснения имеющихся запасов железных руд в Союзе. Они показали наличие значительного количества железной руды в известных ранее месторождениях, бо́льшая часть которых относится к числу осадочных в морях и озерах. Они привели, кроме того, к открытию новых осадочных месторождений железных руд мирового значения. Сюда относятся, во-первых, Халиловские месторождения железных руд озерного происхождения, открытые в 1929 г. и считавшиеся первоначально месторождением обыкновенных бурых железняков. Только в процессе опытных плавок было установлено постоянное присутствие никеля, кобальта и хрома в рудах. Детальное изучение Халиловских месторождений сотрудниками Института геологических наук АН СССР под руководством автора настоящей статьи в 1935—1939 гг. обнаружило наличие здесь нового для СССР типа рудных месторождений — месторождения комплексных, легированных никелем, кобальтом и хромом железных руд. Описание месторождения напечатано в Трудах ИГН АН СССР, вып. 67, 1942 г. Руды подобного типа характеризуются постоянным присутствием и равномерным распределением в них легирующих, т. е. облагораживающих руду примесей хрома, никеля и кобальта, закономерно изменяющих свое содержание сверху вниз в рудной залежи. Количество железа, никеля и кобальта постепенно возрастает сверху вниз, при более или менее постоянном содержании хрома. Самыми богатыми железом (до 43%), никелем и кобальтом являются «слоистые руды», слагающие нижнюю часть пластообразной залежи; менее богаты неслоистые — «бобовые руды» средних горизонтов залежи (до 39% железа) и более бедны ими «глинистые бобовые руды» верхних горизонтов. Минералогический состав руд отличается значительной сложностью, но вместе с тем и закономерным изменением в залежи. Вдоль берегов древних озер руды образованы из гидроокислов железа; далее от берегов к гидроокислам

прибавляется более или менее значительное количество кремнекислых соединений железа (лептохлоритов), а вместо гидроокислов железа местами выделяется магнетит или гематит, редко присутствует сернистое железо (марказит). Руды нижних горизонтов Халиловских рудных месторождений при плавке дают природно легированный чугун, а при переработке его — природно легированную сталь, которые отличаются от обыкновенных большей продолжительностью службы и сопротивлением ржавчине. На базе этих руд в настоящее время строится крупный металлургический комбинат близ г. Орска. Самый верхний пласт руд содержит трехводный гидрат глинозема и может служить для изготовления особого цемента.

Очень важное промышленное значение имеет Аятский железорудный бассейн на восточном склоне Южного Урала, в верховьях р. Тобола и его притока — р. Аят. Это месторождение было известно давно, но ввиду относительно пониженного содержания железа и удаленности от железнодорожной линии не осваивалось промышленностью. В настоящее же время, в связи с проведением железной дороги Карталы — Акмолинск, оно приобрело большой промышленный интерес.

Производящиеся в настоящее время разведочные работы уже показали наличие здесь обширной площади развития руд с многомиллионными запасами. Месторождение относится к морскому осадочному типу и содержит так называемые оолитовые руды, сложенные из мелких шариков. Детальное изучение месторождения только начинается. Минералогический состав оолитов — гидроокислы железа, сидерит и кремнекислое железо (лептохлорит). Оолиты цементируются чаще лептохлоритами, цемент содержит иногда примесь песка.

За последние десятилетия произошли большие изменения в отношении запасов марганцовых руд в СССР. Первоначально было поставлено выяснение запасов руд в известных ранее осадочных месторождениях марганца на Кавказе и на Украине (Чиатурском и Никопольском). После этого начались поиски новых месторождений в других районах Союза. Новые месторождения крупного промышленного значения были установлены на Урале, в Казахстане и Западной Сибири; разведка их началась во время Великой Отечественной войны и еще не закончена. Детальное изучение месторождений частью начинается, частью еще не закончено. В Западной Сибири были открыты Мазульское месторождение среди отложений протерозойского возраста и Усинское месторождение

среди кембрийских отложений. На основании имеющихся неполных данных, в Мазульском месторождении первичные руды имеют карбонатный состав (родохрозит и манганосидерит), но сверху они прикрыты окисленными рудами (марганцовой шляпой). В Усинском месторождении, открытом К. В. Радугиным, рудными породами являются марганцовистые известняки и хлорито-карбонатные породы, сверху покрытые шляпой из окисных соединений марганца.

В Казахстане открыт ряд новых месторождений, из которых наиболее важным среди нижнекаменноугольных отложений является Атасуйское. Здесь пласты марганцовых руд сопровождаются пластами железных руд. Руды первоначально имели оолитовое строение и состояли из гидроокислов железа и марганца, но позднее подверглись обезвоживанию в гематит и браунит.

Большое значение имеют и работы по обобщению результатов изучения осадочных месторождений алюминиевых, железных и марганцовых руд и по их распределению в озерных и морских бассейнах. Полученные данные показывают, что перечисленные месторождения, вследствие физико-химических условий отложения соединений этих металлов, закономерно сменяют друг друга вдоль берегов бассейнов. Установление такой закономерности облегчает постановку поисков новых месторождений алюминия, железа и марганца.

Академик
А. Н. Заварицкий

НАЧАЛО РУССКОЙ ВУЛКАНОЛОГИИ

В обширной области наук о земле особое место занимают науки, изучающие процессы, происходящие в настоящее время на поверхности земли и в земной коре. Их совокупность составляет то, что связывает геологию, географию и физику. У нас принято называть это физической геологией; американцы включают эти вопросы в число проблем геофизики. В некоторых случаях их рассматривают как части физической географии. В действительности здесь так тесно переплетаются и проблемы, и методы изучения, что трудно провести даже условные границы этих разделов науки. Трудно не только ограничить круг проблем того или иного раздела, но и определить момент, когда в естественном ходе развития и дифференциации знания можно отметить возникновение или обособление того или другого отдела физической геологии как особой ветви знания и исследования. В разных странах это происходит по-разному. Различными были и пути такого обособления.

Вулканология, предмет которой — процессы, вызванные причинами, скрытыми в земной коре, наряду с сейсмологией, особенно тесно связана с геологией в тесном смысле слова, с той наукой, которая изучает состав и строение земной коры и направляет свои исследования в конечном счете на то, чтобы раскрыть историю земли, последние страницы которой доходят до современных геологических процессов.

Особенно тесная связь вулканологии и геологии вызывается двумя обстоятельствами. С одной стороны, современные вулканические явления служат одним из оснований геологии, которая в явлениях настоящего ищет ключ к объяснению прошлого. С другой стороны, при изучении вулканов приходится широко применять геологические методы. Вулканология изучает не только процессы, происходящие в действующих вулканах, но и строение этих вулканов, и продукты их деятельности. Вашингтон сравнивает изучение действующего вулкана с изучением сложной машины. Мы должны изучать ее не только на полном ходу: «Мы можем лучше понять соотношения между ее частями и их действие, если исследовать машину, когда ее части двигаются медленно или находятся в покое». А при изучении строения покоящихся вулканов или даже угасших, но сохраняющих еще свою структуру, мы подходим к ним с геологическими методами.

Извержения огромного большинства вулканов происходят через более или менее продолжительные промежутки покоя или слабой фумарольной деятельности; поэтому даже при изучении действующих вулканов приходится иметь с ними дело чаще в состоянии покоя, чем извержения. В этих условиях вулканологические исследования сводятся прежде всего к изучению формы и структуры вулкана и требуют применения геологических методов.

Единственная область активного вулканизма в нашей стране — Камчатка является областью самой отдаленной, трудно доступной, и суровые природные условия ее делают особенно трудным изучение вулканов. До недавнего времени наблюдения над деятельностью вулканов были здесь только случайными и совершенно поверхностными.

Несколько лучше обстояло дело с изучением формы и строения вулканов.

Хотя сведения о вулканах Камчатки мы находим в описаниях всех путешественников и исследователей этого полуострова, начиная от Крашенинникова [16], затем Эрмана [36], Дитмара [5] и других, но они дают лишь отрывочные представления о вулканах и еще более скудные — об их деятельности. Зародыш русской вулканологии можно, конечно, видеть в главах «Об огнедышащих горах и происходящих от них опасностях» и «О горячих ключах» знаменитого «Описания земли Камчатки» Крашенинникова; в мировую литературу первые научные сведения

о вулканах Камчатки попали уже из описания путешествия Эрмана, но началом собственно вулканологических исследований в России надо считать камчатские работы К. И. Богдановича [35]. Его поездка на Камчатку состоялась вследствие желания Горного ведомства пополнить геологический материал по Камчатке и собрать сведения о возможностях и перспективах горной промышленности. Экспедиция не имела в виду изучения вулканов, однако в геологическом очерке Камчатки, опубликованном в 1904 г., около трех четвертей всей работы посвящено описанию вулканов, а первые главы являются необходимым геологическим введением.

Работа К. И. Богдановича заложила основы наших знаний геологии Камчатки и вместе с тем явилась первым русским исследованием действующих вулканов на нашей территории. Эти вулканы исследованы им при маршрутных геологических наблюдениях, и притом в исключительно трудных условиях. Тем не менее они составили огромный вклад в нашу вулканологию.

К. И. Богдановичем были исследованы потухшие вулканы Срединного хребта: Хангар, вулканические образования в вершинах р. Камчатки, замечательный вулканический массив Ичинского вулкана, вулкан Анаун, вулканические образования вдоль р. Тигиля, вулканическая группа Айнелькан и другие вулканические постройки Срединного хребта. В восточной активной зоне вулканов он дал описание Шивелуча, сообщил важные точные данные о группе Ключевской сопки, захватил своими исследованиями Коряку, кальдеру Тарьинской бухты, Вилючик, Мутновскую сопку. В заключительной главе делаются важные общие выводы о вулканизме Камчатки. В то время в вулканологии только что появились идеи Штюбеля о причинах вулканизма и генетических формах вулканов. Эти идеи оказали свое влияние и на работы К. И. Богдановича, которые все же были, как мы видим, развитием геологических исследований; извержений камчатских вулканов Богдановичу наблюдать не удалось.

Через 10 лет после исследований К. И. Богдановича на Камчатке работали его ученики, как участники экспедиции, снаряженной на частные средства (Рябушинского) при содействии Русского географического общества. Члены геологического отряда экспедиции С. А. Конради, Е. В. Круг и Н. Г. Келль собрали обширный материал по вулканам Камчатки. Результаты этой экспедиции были опубликованы только в виде

небольших кратких отчетов [14], и позднее появилась топографическая карта [13], которую составил Н. Г. Келль. Исследования также касались только строения вулканов, их состава и географического распределения. Участникам этой экспедиции также не удалось быть свидетелями извержений, хотя о фумарольной деятельности ряда вулканов были сообщены интересные сведения.

Таким образом, и по своим задачам, и по методам вулканологические исследования на Камчатке до недавнего времени носили характер геологического изучения вулканов. Так обстояло дело до тридцатых годов настоящего столетия.

В еще большей степени такой геологический характер, естественно, должны были иметь исследования потухших четвертичных вулканов Кавказа, о которых также необходимо сказать, говоря об истоках нашей вулканологии.

Основы сведений о вулканах Кавказа были заложены Германом Абихом. Вулканологическая работа Абиха об итальянских вулканах Везувии и Этне появилась в 1836 г. С сороковых годов прошлого века начинаются его исследования в вулканических областях Кавказа, и работы его публикуются на протяжении тридцати лет. Основная и последняя его работа [48] появилась уже после его смерти.

Работы Абиха оказали сильнейшее влияние на позднейших исследователей Кавказа. Его непосредственным преемником в этой области был Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Работа Левинсона-Лессинга «Вулканы и лавы Центрального Кавказа» [42], несомненно, сыграла большую роль в распространении в нашей стране вулканологических идей. Хотя главным образом эта работа является петрографическим исследованием лав кавказских вулканов, в ней дана и краткая характеристика вулканических образований Центрального Кавказа. Среди них встречаются и шлаковые конусы (Кельское плато, Сакохе в районе Гудаура), и массивные экструзии более кислых лав. В связи с изучением этих образований автор останавливается на различных взглядах, высказывавшихся в литературе относительно способа образования вулканических аппаратов, классификации вулканов, образования экструзивных конусов и т. д., и применяет эти взгляды к толкованию изученных им форм. Работа эта, как сказано, имеет по существу петрографический характер. Из 115 страниц только 15 отведено описанию геологии и морфологии вулканов, около 30—общим

вулканологическим и геологическим соображениям, а остальное — описанию лав.

Перечисленные работы были основными, с которых началась русская вулканология.

Кроме работ К. И. Богдановича, а затем участников экспедиции Рябушинского на Камчатке и исследований Левинсона-Лессинга на Кавказе, в русской литературе оригинальные описания вулканов были только содержанием небольших заметок и статей. Из них должны быть упомянуты: как первое исследование камчатского вулкана Авачи — статья Постельса [34], далее статья Вислоуха [49] об извергавшихся в двадцатых годах XVIII века манчжурских вулканах Уюнь-Холдонги, очень интересных по составу их лав, и, наконец, краткие сообщения о потухших Витимских вулканах в заметках А. П. Герасимова [50] и П. И. Преображенского [52].

Так обстояло у нас дело с изучением вулканов до первой мировой войны и революции. Мы видим, что до этого времени в русских работах о вулканах совершенно отсутствовала главнейшая часть вулканологии — изучение современной деятельности вулканов, их извержений и других проявлений активного вулканизма. Работы имели геологический и геоморфологический или петрографический характер.

В 1926—1927 гг. на Камчатке около г. Петропавловска произошло извержение вулкана Авачи. Оно наблюдалось и было описано несколькими местными натуралистами более подробно, чем какое-либо другое из ранее известных извержений камчатских вулканов. Продукты его изучались в 1930 г. П. Н. Чирвинским.

В 1929 году б. Геологическим комитетом одновременно с Академией Наук было решено начать более систематическое изучение вулканов Камчатки. Спустя несколько лет это было приведено в исполнение, и с этого времени начинается новый период в истории вулканологии в нашей стране. Основой вулканологических исследований становится систематическое изучение действующих вулканов, и начинаются наблюдения за деятельностью их.

В то же время, наряду с изучением камчатских вулканов, молодые закавказские вулканические образования Армении стали снова объектом изучения группы исследователей Академии Наук под общим руководством академика Ф. Ю. Левинсона-Лессинга (П. И. Лебедев,

Б. М. Куплетский, А. С. Гинзберг и др.). Изучались массивы Алагез [41] и Акманган [40]. Эти исследования, впрочем, приняли довольно узкий петрографический характер и привели к бо́льшим достижениям в этой области науки, чем в вулканологии. Существенный вклад в вулканологию Армении был сделан одновременно геологическими исследованиями К. Н. Паффенгольца [45—47].

Новый, последний период вулканологических исследований на Камчатке был начат в 1931 г. изучением вулкана Авачи, производившимся автором настоящей статьи вместе с несколькими его учениками. Авача — ближайший вулкан к г. Петропавловску — входит в группу вулканов, к которой принадлежат также Коряка и Козельская сопка. Исследования охватили Авачу и Козельскую сопку (потухшую).

Действующий вулкан Авача — один из наиболее активных камчатских вулканов. В XVIII—XIX столетиях отмечено по 10—11 извержений его; в XX столетии извержения были в 1909, 1910, 1926, слабые извержения в 1927, затем произошли извержения в 1937—1938 и, наконец, в 1945 г. Во время первого детального исследования вулкана в 1931 г. он находился в состоянии сольфатарной деятельности. Фумаролы действовали в кратере и в верхней части наружных стенок конуса; температура их была от 90 до 330°. Были исследованы газы этих фумарол, содержащие хлористый водород вместе с преобладающим водяным паром, и сернистые газы, а также отложения фумарол, представленные главным образом разнообразными сульфатами, частью серой, иногда струйками вытекавшей из устья более горячих фумарол. Особенный интерес представляли отложения белых кристаллических выцветов сассолина (борной кислоты) около некоторых отверстий. Кроме бора, газы фумарол Авачи выносили из глубины также некоторое количество мышьяка и следы сурьмы, обнаруженные в составе инкрустаций.

При исследовании Авачи в 1931 г. довольно неожиданным оказалось отсутствие тех потоков лавы, о которых упоминалось в описаниях извержений 1926—1927 гг. Вместо того у подошвы конуса были встречены значительные накопления шлаковых кусков. Очевидно, за лавовые потоки были приняты лавины раскаленных шлаков, скатывавшиеся по склону конуса.

Позднейшие исследования показали, что этот тип извержений характерен для Авачи и вообще распространен среди камчатских вулканов,

что раньше не предполагалось. Как отмечает Вильямс, одним из последних достижений вулканологии является выяснение гораздо большей роли подобных явлений, чем думали раньше.

Изучение Авачи в 1931 г. касалось главным образом строения этого вулкана. Он представляет вулканическую постройку такого же типа, как знаменитый Везувий с его соммой, но Авача вдвое выше Везувия; в верхней части с высоты 1600—1700 м начинаются уже концы его ледников.

Исследования строения Авачи выяснили и историю образования вулкана. Извержения лав андезитового состава и выбросы рыхлых продуктов образовали почти всю массу соммы Авачи и соседние Козельскую сопку и Коряку; лишь в последние моменты формирования соммы появляются более основные лавы базальтового состава. Затем, после долгого перерыва, последовало образование огромной кальдеры соммы и опускание ее сектора, образующего теперь отрог вулкана, который разделяет две наиболее крупные сухие реки на его южном склоне. В связи с образованием кальдеры происходили и вулканические взрывы, заполнившие светлой пемзой впадину кальдеры и частью покрывшие склоны вулкана. Вероятно, к этому же времени надо отнести и образование небольших экструзий более кислой и вязкой лавы на склонах вулканов, особенно к северо-востоку от Козельской сопки. Наконец, внутри кальдеры появился и вырос современный конус, сложенный из лав и рыхлых продуктов, извергающихся во время пароксизмов его деятельности, и спокойно выделяющий пар и газы в промежутках между ними.

Интересно сравнить историю Авачи с историей ее соседей — Коряки и Козельской сопки. Вулкан Коряка отвечает стадии Авачи до образования кальдеры соммы. Это правильный конус, изборожденный глубокими барранкосами («зонтичная структура»); он еще обнаруживает слабые следы деятельности. Вершина Козельской уничтожена и вместо нее — небольшая кальдера, но в этой кальдере не вырос молодой конус. Она теперь заполнена фирном, и к северу из нее спускается мощный ледник.

Коряка, Авача и Козельская сопка расположены на одной прямой линии северо-западного направления, поперечного по отношению к главному направлению хребтов Камчатки, вдоль которых располагаются и вулканы. С вершины Авачи открывается величественный вид вокруг, и, глядя отсюда, нельзя не обратить внимания на то, что в том же попе-

речном направлении, какое намечается расположением трех названных вулканов, следует ряд вершин Жупановского вулкана и следующих за ними на северо-запад, а на юго-востоке — крутой прямолинейный обрыв далеко выступающего в океан Шипунского мыса.

Таким образом, при изучении Авачи была подмечена и основная правильность в расположении камчатских вулканов. Она подтверждалась и имевшейся к тому времени картой вулканов Камчатки, а в дальнейшем вошла как одно из оснований в рабочую гипотезу о связи вулканизма и тектоники Камчатки.

В связи с исследованиями Авачи, особенно состава ее фумарол, были изучены Б. И. Пийпом Налачевские горячие ключи, находящиеся к северу от Авачи, между этим вулканом и Жупановской сопкой. Здесь в особенности были основания предполагать генетическую связь между этими вулканами и термами. Налачевские ключи выходят из толщ лавовых потоков и являются богато минерализованными (4 г солей на 1 л воды). Вода по составу углекисло-сульфатно-соляная с бором, бромом и мышьяком; температура — около 72°. Источники необыкновенно богаты бором (борной кислоты 0.4 г/л) и мышьяком (6 мг/л), которые мы обнаружили в отложениях фумарол Авачи и которые, как показали дальнейшие исследования вулкана Узона и других горячих источников, являются характерными элементами среди продуктов современной вулканической деятельности Камчатки. Налачевские ключи интересны еще тем, что отлагают, кроме больших количеств мышьяковистого травертина, небольшое количество богатого мышьяком глиноподобного осадка (гайдингерита).

Начатые с 1931 г. вулканологические исследования на Камчатке уже не прерывались и охватили разнообразные стороны вулканизма. Мы не будем следовать хронологической последовательности этих работ. Удобнее коснуться их в порядке предметов исследования.

Прежде всего надо указать на то, что за истекшие полтора десятка лет изучено строение ряда камчатских вулканов.

Наиболее интересно, конечно, изучение известной Ключевской группы вулканов, находящейся на месте смыкания камчатской и алеутской вулканических и тектонических дуг. Вулканы этой группы изучались В. И. Влодавцем и Б. И. Пийпом. Важнейшим из этих вулканов является знаменитый действующий вулкан Ключевская сопка.

Ключевская сопка (выс. 4850 м) отличается удивительной правильностью своей конической формы, только при последнем извержении несколько нарушенной глубоким, спускающимся от кратера ущельем, которое было выпахано лавиной раскаленного материала, скатившегося по склону. Вершина Ключевской сопки сложена из пирокластического материала и, в меньшем количестве, лавы, переслаивающихся со льдом. Очень характерны для вулкана многочисленные добавочные (паразитные) шлаковые конусы, особенно распространенные в нижней части восточной половины вулкана. Эта черта сближает Ключевскую сопку с знаменитой Этной.

Ключевская сопка располагается на склоне грандиозного куполообразного пологого конуса вулкана Плоской сопки, так же, как и сосед Ключевской сопки — Камень, более древний разрушенный вулкан, от которого сохранилась только половина; вторая половина опущена сбросом и сильно изъедена ледниками. На отрогах Камня возвышается вулкан Безымянная сопка, интересный тем, что, по последним исследованиям Пийпа, в его строении принимает существенное участие массивная экструзия более кислых лав. Такие же экструзии слагают массив Плотины, примыкающей с юга к Безымянной.

Южнее Ключевской и Камня располагаются поперечными рядами Зимины и Удины сопки. Западнее, в южной части Ключевской группы, находится действующий вулкан Толбачик, замечательный обилием лавовых потоков и, как мы увидим дальше, отличающийся по характеру своей деятельности.

Обо всех этих вулканах до последних десятилетий имелись лишь очень краткие сведения, главным образом, по наблюдениям С. А. Конради. Эти сведения теперь значительно пополнились, и мы знаем существенные различия всех этих вулканов. В последние годы получены данные и о строении основания, на котором располагаются вулканы, — плато лав, заливших третичные и более древние образования, разбитого рядом сбросов.

К северу от Ключевской группы находится самый северный действующий вулкан — Шивелуч, также изучавшийся в последнее время А. А. Меняйловым и Б. И. Пийпом. Исследования уточнили представление относительно его строения и состава лав, первые сведения о которых были сообщены еще Эрманом [36]. Шивелуч — огромный экструзивный

массив из мощных, налегающих одна на другую толщ роговообманкового андезита. Часть этого массива опущена сбросом, и здесь сосредоточилась современная деятельность вулканов.

К югу от Ключевской группы Б. И. Пийпом изучен вулкан Кизимен. В его строении участвует мощная экструзия роговообманковых андезитов, образование которой предшествовало современной деятельности.

Новые данные получены и о расположенном южнее потухшем вулкане Крашенинникова, состоящем из двух слившихся в одну гору конусов, поднимающихся внутри обширной кальдеры. Северный из конусов имеет широкий кратер, в котором концентрически расположены еще два более молодых конуса.

Вулканы Большой и Малый Семячики и вулкан Карымский исследовались В. И. Влодавцем. Оба Семячика представляют сложные вулканические постройки, еще проявляющие следы своей активности в действующих сольфатарах. Карымский вулкан — один из наиболее активных, вероятно занимающий в этом отношении третье место на Камчатке. Его правильный конус находится внутри кальдеры, охватывающей его со всех сторон и срезающей другую подобную же кальдеру, расположенную севернее. Из действующего конуса вылился мощный поток лавы. Интересной особенностью является состав лав Карымского вулкана: это дациты — одни из наиболее богатых кремнеземом лав современных вулканов Камчатки.

Два известных на Камчатке вулкана-кальдеры — Узон и Ксудач были изучены Б. И. Пийпом. Кальдера Ксудач с кратером Штюбеля, находящаяся в южной части Камчатки, получила известность своим извержением 1907 г., сведения о котором были, впрочем, преувеличены. Эта кальдера имеет 7 км в поперечнике. В средней части ее — небольшой лавовый конус, из которого выделяются газы моффет, а севернее его — кратер взрыва, откуда и произошло последнее извержение, давшее рыхлые продукты.

Интересна кальдера Узон, расположенная в 160 км к северу от Авачи. Она привлекала к себе внимание деятельностью фумарол горячих источников, грязевых вулканчиков. Находка бора на Аваче заставляла обратить внимание на другие места поствулканических эксгаляций, и Узон был одним из первых изученных вслед за Авачей вулканов. Химическое

исследование вод показало, что в них находится значительное содержание мышьяка, цинка, меди и широко распространенной борной кислоты (до 24 мг/л). Кроме того, в водах найдены следы марганца, сурьмы и олова. Встреченные в кальдере горячие источники, вплоть до кипящих, необычайно разнообразны по составу. Они сопровождаются инкрустациями, подобными изученным на Аваче, и ничтожными отложениями серы.

Как мы видим, за последние 15—16 лет был исследован целый ряд вулканов разных типов, и их изучение дает все больше и больше материала для их сравнения. Мы подходим к сравнительному изучению вулканов, к вопросам о сути этих различий и о причинах их.

Около 10 лет назад автором этой статьи был написан краткий очерк Камчатки, напечатанный в изданном Академией Наук «Камчатском сборнике» (1940); там были даны в сжатом виде все имевшиеся к тому времени сведения о вулканах. В настоящее время, когда снова пришлось составлять такой же краткий очерк камчатских вулканов для «Геологии Союза», он оказался почти вдвое бо́льшим. Так быстро пополняются данные за последнее время.

В 1946 г. в изучении морфологии камчатских вулканов мы применили новый, исключительно эффективный метод, который теперь начинает входить в вулканологические исследования в разных странах. Была произведена съемка многих вулканов с самолета. Этим путем удается обнаружить многие особенности строения наиболее трудно доступных или даже недоступных частей вулкана и, изучая их, совершенно определенно поставить вопросы о строении вулкана и наметить пути к их решению. Сравнительное изучение вулканов приобретает здесь незаменимое средство исследования.

Этот же 1946 год был первым годом исследований вулканов Курильских островов, представляющих неразрывное продолжение цепи камчатских вулканов. В результате исследований этого года Г. С. Горшковым были выяснены общее число вулканов, их распределение по островам, морфология большинства вулканов, число действующих из них и собран геологический и петрологический материал для ряда островов. Работы значительно пополнили прежние исследования. Впервые были описаны вулканы островов Онекотан, Карумукотан, Сясикотан, Экарума, Мацуа, Расева, Кетой, Чирпой.

Другая и важнейшая сторона вулканологических исследований — изучение извержения вулканов. В этом направлении за последние 15 лет сделаны, пожалуй, еще бо́льшие успехи.

В 1932 г. один из участников исследований Авачи В. С. Кулаков был командирован на Камчатку музеем Ленинградского горного института с целью собрать некоторый материал для музея. В это время началось извержение нового паразитного кратера Ключевской сопки. Около месяца В. С. Кулаков провел в непосредственной близости с извергающимся и растущим шлаковым конусом, с большой смелостью собирая материалы извержения и сделав ряд интереснейших наблюдений над деятельностью кратера, взрывами газов, движениями газов и т. д. Это были первые исследования русского геолога, непосредственно наблюдавшего величественное и грозное явление вулканического извержения.

В дальнейшем, когда была основана Камчатская вулканологическая станция, наблюдения извержений вулканов стали еще полнее и систематичнее. Теперь мы имеем сведения о двух полных циклах извержения Ключевской сопки, а также и об извержениях других вулканов.

Извержения Ключевской сопки из вершинного кратера начались весной 1937 г., когда над кратером появилось зарево от раскаленной лавы, затем последовали взрывы и излияния лавы. Здесь нет надобности подробно останавливаться на ходе извержения, описанного А. А. Меняйловым. С апреля и до половины октября 1937 г. активность вулкана возрастала. В середине октября произошли самые сильные извержения с мощными выбросами пепла и излияниями лавы. Затем деятельность вулкана стала ослабевать, излияния лавы заменились только выбросами пепла. В феврале на восточном склоне вулкана прорвались побочные кратеры, а деятельность вершинного кратера пошла на затухание. Очень типично было начало латеральных извержений. На склоне, на высоте от 900 до 1800 м, по направлению радиуса вулкана, последовательно сверху вниз, взрывы образовали небольшие кратеры. В самом верху дело ограничилось одними эксплозиями, выбросившими старый вулканический материал; ниже выбрасывались шлаки, потом показалась лава, а из самого нижнего кратера вылились потоки лавы в длину до 16 км и вырос шлаковый конус. Извержение этого кратера длилось больше года, тогда как все выше расположенные кратеры возникли за короткий промежуток времени, предшествовавший извержению нижнего, и деятельность самых

верхних ограничилась единичными взрывами. Интересны различия в составе лав и шлаков, извергнутых из различных кратеров этого ряда. Чем ниже было расположено устье извержения, тем более бедной кремнекислотой и более тяжелой была лава. Как будто бы перед извержением произошла дифференциация, расположившая внизу более тяжелые порции лавы. Эти извержения были описаны С. И. Набоко и В. Ф. Попковым.

В 1939 г. деятельность Ключевской сопки и ее побочных кратеров прекратилась, а через пять лет, в 1944 и 1945 гг., опять возобновились извержения, и здесь вновь повторились те же события и в том же порядке.

Извержения вершинного кратера начались с декабря 1944 г., когда над кратером появилось зарево и через несколько дней последовали взрывы, выбрасывавшие вулканические бомбы и столб пепла. Кульминационной фазы извержение достигло, примерно, через месяц после начала (1 января), когда вслед за грандиозным извержением рыхлого материала из кратера излился небольшой поток лавы.

Спустя четыре с половиной месяца (19 июня) на юго-восточном склоне вулкана, на высоте 1000—1500 м, произошел прорыв лавы. Он был так же характерен, как и в 1938 г. Ряд воронок взрывов, почти сливающихся на расстоянии 2 км в один ров, закончился внизу прорывом, откуда вылился поток лавы до 6 км длиной, а над устьем вырос шлаковый конус. Излияние лавы продолжалось 19 суток.

Таким образом, извержение 1944—1945 гг., которое подробно изучил Б. И. Пийп, повторило последовательность явлений извержения 1937—1939 гг., но произошло в гораздо меньший срок.

Связь латеральных извержений с центральными и характер латеральных извержений вновь поставили перед нами вопрос о так называемом «этнейском» типе извержений, — вопрос, до сих пор еще не решенный в вулканологии.

В ноябре 1946 г. произошел новый прорыв на склоне Ключевской сопки между местами предыдущих извержений; он был неожиданным и не предварялся извержениями центрального кратера. Подробные данные о нем еще не получены.

Оживление деятельности Ключевского вулкана в 1937—1939 и в 1944—1945 гг. совпадало вместе с тем с оживлением вулканической деятельности на Камчатке вообще. Вместе с извержениями Ключевской сопки извергалась, после десятилетнего покоя, и Авача.

Осенью 1937 г. из жерла Авачи начались выбросы газов; в начале 1938 г. появилось зарево над кратером и начались выбросы раскаленных бомб. В марте (6 и 28-го) произошли мощные эксплозивные извержения с выбросами газов пепла и бомб и с лавинами раскаленного рыхлого материала, скатывавшимися по склону и давшими ниже грязевые потоки. Позднее, весной и летом, вулкан выделял только обильные фумаролы. Извержение возобновилось в первых числах сентября. 4 сентября произошло излияние лавы, не сопровождавшееся эксплозивными явлениями. После ряда относительно слабых извержений в течение осени 1938 г. сильный пароксизм, похожий на мартовское извержение, был в ночь на 27 ноября; для него также характерно было скатывание раскаленных лавин рыхлого материала. К концу 1938 г. извержение закончилось.

Извержение Авачи в 1945 г. произошло днем 25 февраля и продолжалось всего около семи часов. Рядом взрывов было выброшено большое количество вулканического пепла и других рыхлых продуктов; над вулканом образовалась большая пепловая туча, вместе с тем на склоны вулкана скатились лавины рыхлого материала. Лавы не было. Извержение это, описанное Пийпом, было чисто эксплозивным и относительно слабым, но оно обнаружило типичные черты извержений Авачи вообще.

Другой характер имело извержение вулкана Толбачика, происходившее в период 1939—1941 гг. и изучавшееся В. Ф. Попковым и Б. И. Пийпом.

Толбачик отличается обилием лавовых потоков, причем особенности лав указывают, что потоки были очень жидкими. На склонах вулкана много паразитных шлаковых конусов.

После продолжительного периода покоя активная деятельность вулкана началась в сентябре 1939 г. и продолжалась почти до лета 1941 г. До весны 1941 г. она выражалась в усиленном выделении пара и газов через жидкую, расплавленную, светящуюся лаву, заполнявшую кратер. Вырывавшиеся газы отрывали частицы лавы, застывшей в характерных формах и разбрасывавшихся вокруг. Это состояние кратера, наполненного расплавленной, очень жидкой, лавой, продолжавшееся около полутора лет, напоминало до некоторой степени деятельность гавайских вулканов. Затухание ее закончилось сильным, но очень непродолжительным извержением, приведшим к образованию на склоне нового паразитного конуса,

достигшего высоты 70 м, образованного бомбами и шлаками и излившего поток лавы около 5 км.

Как видим, извержения Толбачика существенно отличались от извержений и Ключевской сопки, и Авачи.

Наконец, еще один отличающийся тип извержений наблюдался и изучался на вулкане Шивелуче. Его деятельность после очень продолжительного периода спокойствия, тянувшегося около 50 лет и прерывавшегося лишь очень слабыми извержениями пепла, последнее из которых было около 1930 г., началась в 1944 г. почти одновременно с началом деятельности Ключевской сопки. Раньше уже было сказано, что по составу лав Шивелуч резко отличается от Ключевской. Естественно, что его извержения должны были иметь совершенно иной характер. Это и подтвердилось при последних извержениях, которые еще не закончились и до настоящего времени. Они начались периодическими слабыми эксплозиями, выбрасывавшими вместе с паром и газами светлый пепел роговообманкового андезита. После периода некоторого затухания зимой 1945 г. извержения усилились; получены сообщения об извержении раскаленных туч и, может быть, небольших экструзий вязкой лавы. Первые извержения напоминали деятельность угасающего вулкана Лассен-Пик; последние отвечают более активной стадии.

Приведенная краткая характеристика извержений камчатских вулканов, более или менее подробно изученных за последние 15 лет, дает представление о значительном разнообразии этих проявлений вулканической деятельности.

Сравнительное изучение строения и состава вулканов, характер их извержений, положение вулканов в общей структуре Камчатки — все это дает исключительный материал для решения важнейших общих вопросов вулканизма. Пока сделаны только первые шаги такого сравнительного изучения вулканов.

В самом начале изучения вулканов Камчатки перед нами возник тот вопрос об изменении состава лав во времени, который давно находится в центре внимания петрографов и вулканологов, именно вопрос о том, как связаны изменения в составе магмы, которые происходят в течение долгой жизни вулкана, с разницей в составе лав, последовательно извергаемых вулканом, и в самих проявлениях вулканической деятельности.

Как известно, последовательность внедрения магматических масс в земной коре, не вырвавшихся на поверхность, обнаруживает гораздо бо́льшую закономерность изменений состава. Более поздние интрузии становятся все более и более богатыми кремнекислотой и щелочами. Последовательность извержений лав разного состава гораздо более сложная, и в литературе был указан ряд примеров, где в разных областях лавы сменяли друг друга в различной последовательности.

Самый факт длительного существования вулкана, извергавшего лавы различного состава в разное время, является очевидным указанием и на длительное существование магматического очага, питающего этот вулкан, и на процесс дифференциации, происходящей в этом очаге. Согласно существующим представлениям о магматической дифференциации в течение этого процесса, состав магмы меняется таким образом, что остаток ее делается все более и более легкоплавким, способным сохранять жидкое (аморфное) состояние при все более и более низких температурах. Этим определяется смена интрузивных пород во времени, о которой только что было сказано. Кроме того, действие всех факторов дифференциации имеет, повидимому, своим результатом неоднородность магматического бассейна с расположением более кислых и легких частей вверху и более основных и тяжелых внизу. Мы уже видели пример Ключевской сопки, где такая гравитационная дифференциация наблюдается почти непосредственно. Кроме того, изучение вулканов показывает, что дифференциация происходит главным образом в периоды покоя, и, повидимому, сложность в последовательности извержений различных лав по сравнению с последовательностью образования интрузивных пород надо связывать с тем, что акты извержений прерывают и нарушают нормальное течение дифференциации в магматическом очаге.

Сопоставляя все эти представления, можно предположить два возможных типа проявления дифференциации в изменении состава лав:

1. Извержение происходит из дифференцированного очага магмы, более кислой вверху и более основной внизу. Последовательное исчерпание сверху вниз такого очага ведет к последовательному возрастанию основности лав.

2. Извержения следуют через промежутки времени, в течение которых магма в очаге успевает изменять свой состав все дальше и дальше по пути нормальной магматической эволюции. Каждое последующее извержение

доставляет продукты, соответствующие более поздним стадиям магматической эволюции. Состав лав меняется от основных к кислым.

Можно предполагать, что разнообразная последовательность извержений лав различного состава зависит от соотношения между скоростью течения процесса дифференциации, с одной стороны, и частотой прерывавших его непрерывное течение эруптивных актов и их интенсивностью — с другой. После длительных периодов покоя вулкан извергает продукты дальше зашедшей дифференциации.

Выше была кратко изложена история образования Авачи. На Аваче, при образовании тела соммы вулкана, замечалось возрастание основности лав. Главная масса их представлена андезитами, а самые молодые лавы соммы — базальтами. Образование кальдеры соммы сопровождалось сильными взрывами, выбросившими более кислую пемзу состава роговообманковых андезитов, экструзии которых, вероятно, были связаны с этим же процессом образования кальдеры. Действующий конус позднее снова давал излияния пироксеновых андезитов и соответствующих им пирокластических продуктов. Эта история может считаться довольно типичной; характерно появление кислых продуктов после периода покоя перед образованием кальдеры соммы.

На Узоне образование кальдеры, гораздо более грандиозной, чем кальдера соммы Авачи, сопровождалось извержением риолитовых лав, сменивших базальтовые излияния соммы. На Аваче массивные экструзии, образующие куполы более кислой лавы, имеют незначительные размеры. С другой стороны, существуют вулканы (Шивелуч, Кизимен, Безымянная и др.), где экструзивные куполы кислых лав составляют существенную, а иногда главную часть постройки вулкана. Эти экструзии обыкновенно следуют за эффузивной фазой, дававшей более основные лавы. Позднее деятельность возобновляется и снова появляются более основные лавы; это отвечает той фазе, которая на Аваче представлена деятельностью современного конуса. Разные стадии развития вулкана могут быть неодинаковыми по их значению в его истории, отдельные фазы могут выпадать, и изучение всех этих особенностей путем сравнительного исследования вулканов, к которому мы приступаем на Камчатке, представляет исключительный интерес.

Различные типы вулканов по существу представляют образования, отвечающие разным стадиям вулканической эволюции, проходящей в раз-

ных геологических условиях. Эти типы характеризуются разными видами проявления вулканической деятельности — разными типами извержений. Как известно, характер извержения прежде всего зависит от состава магмы, особенно богатства ее летучими компонентами, и от глубины, откуда начинается извержение. Оба эти фактора изменяются в течение вулканической эволюции, и история каждого вулкана должна вскрывать эту эволюцию. Извержения вулкана в прошлом могли не раз изменить свой характер, и изучение его должно проследить эти изменения. Такая задача стоит перед изучением каждого вулкана. Для Камчатки решение ее еще впереди.

Наблюдения над самими извержениями действующих вулканов, естественно, должны дополняться исследованиями вулканических газов. В настоящее время вулканологи согласно признают положения Перре, что «эруптивным элементом при извержениях par excellence является газ» и что он служит «действующим агентом, а магма — только носителем его». Поэтому состав магматических газов представляет огромный интерес. Однако только в исключительных случаях можно собрать для анализа эти магматические газы, и никогда нет уверенности, что мы здесь не имеем уже продуктов дальнейших реакций первичных газов вблизи от поверхности.

В условиях извержений камчатских вулканов состав тех газов, которые могли быть собраны из фумарол на стенках и дне кратеров или на лавовых потоках, должен быть далек от состава первоначального газа, выделяющегося из магмы. Действительно, многочисленные анализы показывают, что магматическая составная часть собранных газов в подавляющем большинстве случаев ничтожна. Главным образом в пробы попадает воздух атмосферы. Водяной пар, составляющий главную часть газов фумарол, также в большинстве случаев атмосферного происхождения, так как получается при испарении просачивающейся дождевой воды, воды от таяния льда и снега и от подтекающих грунтовых вод, когда они приходят в соприкосновение с лавами и шлаками, через которые проходят фумаролы и которые нагреты горячими газами.

В такой обстановке изучение фумарол доставляет мало данных для определения состава первичных газов, но оно важно само по себе. Газами фумарол выносятся из магмы редкие элементы, и устья фумарол представляют естественные лаборатории, где возникают инкрустации

отложений, содержащих эти редкие элементы. Сопоставление состава газов, состава этих отложений и физических условий их образования представляет основную задачу изучения этих интереснейших примеров минералообразования. На Камчатке оно едва начато. Выше были приведены некоторые данные для Авачи, где в 1931 г. в кратере и на склонах конуса действовали сольфатары. Изучение газов и инкрустаций фумарол побочных кратеров Ключевской сопки и излившихся из них лавовых потоков показало преобладание хлористых фумарол. В инкрустациях в большом количестве отлагался нашатырь вместе с другими хлоридами (галит, молизит и др.). Обнаружено присутствие фтора в газах и фторидов среди минералов. Из рудных элементов в инкрустациях найдены: ванадий, хром, медь, никель; спектроскопически обнаружены следы цинка, кадмия, свинца, ртути, молибдена, вольфрама, олова, мышьяка, сурьмы, висмута. В этом большом списке мы видим элементы, которые считают характерными как для основных, так и для кислых горных пород [21].

В последний период исследований Камчатки изучались и термальные источники, происхождение которых связано здесь с вулканической деятельностью. Они были начаты исследованиями Налачевских терм в 1931 г., о чем было уже сказано раньше. В том же году С. А. Косман изучал Паратунские ключи. Сведения об отдельных группах термальных источников Камчатки мы находим у разных исследователей, начиная с Крашенинникова, но они были отрывочными, несистематизированными, и оставалась неосвещенной геологическая обстановка их нахождения.

В 1934 г. Центральным научно-исследовательским геолого-разведочным институтом было предпринято систематическое обследование терм Камчатки. Бóльшую часть работы выполнил Б. И. Пийп; кроме того, в ней участвовал Д. К. Александров. Пийп исследовал источники Малкинские, Начикинские, Банные, Паратунские и др., Александров — две группы Озерновских источников. Был собран большой материал по геологии района и источникам. Наблюдения показали, что источники, связанные с более древними геологическими образованиями Камчатки, представляют глубинные воды иного состава, чем вода горячих ключей вулканических районов. За исключением Озерновских, все источники представляют мало минерализованные воды с небольшим содержанием сероводорода;

Озерновские выделяются по своей минерализации и составу. Был открыт Малкинский холодный углекислый источник типа нарзана, очень редкий на Камчатке.

В результате исследований получился исчерпывающий очерк всех известных термальных ключей Камчатки (64 группы), написанный Б. И. Пийпом [24] на основании и своих наблюдений и других имевшихся сведений, дана карта распространения источников и сделаны общие выводы. Это сравнительное изучение уже позволило поставить общие вопросы о происхождении камчатских термальных источников и об их характерных особенностях. Большинство терм Камчатки отличается своей «свежестью»; не будучи существенно измененными в своем составе реакциями с веществом горных пород, они указывают на близость вулканических источников их питания. Заметно отличаются по своей минерализации источники, связанные с массами кислых изверженных пород (натрово-сульфатные термы с азотом в газовых выделениях) и с основными вулканическими породами (натрово-хлористые воды с углекислотой); в последних нередки относительно высокие концентрации таких элементов, как бор, мышьяк, цинк и др. Обращает на себя внимание распространение мышьяка в камчатских термах. Кроме терм, на Камчатке за последние годы стали известны и гейзеры, особенно интенсивные в Кроноцком заповеднике.

Таким образом, за последние полтора десятка лет вулканологические исследования Камчатки начаты почти по всем разделам изучения вулканизма этой страны: от геологии вулканов и связи их с общей геологией до происходящих на наших глазах процессов — извержений, газовых эманаций и терм.

Изучение потухших вулканов в других областях вне Камчатки, которое, вместе с Вильямсом, можно скорее назвать вулканической геологией, чем вулканологией в собственном, тесном смысле слова, за это время не получило развития. Лишь в Армении, где, как мы видели, начало исследований молодых вулканов положено было около 100 лет назад Абихом, пересмотр имевшихся данных привел к несколько иным, чем раньше, представлениям о развитии вулканизма в этой стране. Более существенным достижением здесь является выяснение игнимбритовой природы туфолав, привлекавших внимание еще Абиха. В обзоре успехов улканологии за последние 50 лет Вильямс отмечает, что «распознание

природы настоящих пирокластических потоков (игнимбритов) является одним из главных открытий за последние годы». С ними мы стали знакомы лишь после того, как были изучены отложения долины Десяти тысяч дымов, образовавшейся при извержении Катмаи в 1912 г., и подобные им отложения в Новой Зеландии, Калифорнии и других местах.

Кроме изучения вулканических образований Армении, сведения о других районах молодого вулканизма обогатились лишь краткими указаниями на нахождение четвертичных шлаковых конусов в Прибайкалье и в долине нижнего течения Амура; особенно любопытное образование такого рода представляет шлаковый конус в верховьях р. Момы в центральной части Колымского края. Систематическим исследованиям молодые вулканические образования вокруг Байкала и на Дальнем Востоке еще не подвергались. Это — задача будущего.

На Камчатке мы получили уже довольно большой опыт во всех направлениях вулканологических исследований, и теперь стало яснее, чем раньше, в каком направлении следует приложить наибольшие усилия. Несмотря на разнообразие и увлекательность задач вулканической геологии на Камчатке, на первое место все-таки должны быть поставлены наблюдения за деятельностью вулкана и связанными с этим процессами. Здесь должны быть сосредоточены усилия разного рода специалистов и применены методы количественного изучения явлений. Особое значение при этом имеют геофизические методы, применение которых еще полностью впереди. Только в 1947 г. мы получили первую запись первого сейсмографа, установленного на Вулканологической станции. Для сейсмического изучения тектонических движений и вулканизма надо создать несколько таких станций. Необходимы измерения наклонов почвы, гравиметрические измерения. Наконец, нужна измерительная аппаратура при количественном изучении происходящих извержений для исследования газов и источников.

Всестороннее исследование в первую очередь должно быть направлено на определенный, целесообразно выбранный объект, и тогда мы можем рассчитывать получить новые факты первостепенного значения и подойти к обоснованному решению определенных вопросов вулканологии. Ключевская группа вулканов, по всем данным, удовлетворяет многим условиям, чтобы стать таким первоочередным объектом изучения. То, что здесь сделано, — лишь первые шаги начала исследований.

ЛИТЕРАТУРА

КАМЧАТКА

1. *В. И. Влодавец.* Посещение кратера вулкана Плоский Толбачик 13/VIII 1936. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1937, № 2.
2. *В. И. Влодавец.* Ключевской вулкан. Землеведение, т. I, 1940.
3. *В. И. Влодавец.* Карымская группа вулканов. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1939, № 7.
4. *В. И. Влодавец.* Ключевская группа вулканов. Тр. Камч. вулканол. ст., изд. АН СССР, 1940, вып. 1.
5. *К. Дитмар.* Поездки и пребывание на Камчатке в 1851—1855 гг., изд. АН СССР, 1901.
6. *А. Н. Заварицкий.* Некоторые вулканические породы окрестностей Ключевской сопки на Камчатке. Зап. Росс. мин. об-ва, ч. 60, 1931, № 2.
7. *А. Н. Заварицкий.* Вулкан Авача на Камчатке и его состояние летом 1931 г. Тр. ЦНИГРИ, вып. 35, 1935.
8. *А. Н. Заварицкий.* Северные вулканы Камчатки. Тр. СОПС АН СССР, 1935.
9. *А. Н. Заварицкий.* Линейное расположение вулканов Камчатки. Докл. Межд. геол. конгр., М., 1937.
10. *А. Н. Заварицкий*, ред. Геологическая карта Камчатки 1 : 2 000 000. СОПС АН СССР, 1940.
11. *А. Н. Заварицкий.* О вулканах Камчатки. Камчатский сборник, изд. АН СССР, 1940 (рисунки вулканов).
12. *А. Н. Заварицкий.* Изучение вулканов Камчатки. Вестн. АН СССР, 1944, № 4—5.
13. *Н. Г. Келль.* Карта вулканов Камчатки. Изд. Геогр. об-ва, 1926.
14. *Н. Келль* и *С. Конради.* Отчет о деятельности геологического отдела Камчатской экспедиции. Изв. Геогр. об-ва, т. 57, 1925.
15. *С. Конради.* Краткий предварительный отчет о работах партий геологического отряда Камчатской экспедиции Ф. П. Рябушинского 1909—1910 гг. СПб., 1911.
16. *С. Крашенинников.* Описание Земли Камчатки. СПб., 1755.
17. *В. Кулаков.* Паразитные кратеры, возникшие в 1932 г. у подножия Ключевского вулкана. Зап. Ленингр. Горн. ин-та, т. 8, 1934.
18. *В. Кулаков.* Гавайский тип вулканов на Камчатке. Природа, 1936, № 10.
19. *А. А. Меняйлов.* Извержения Ключевского вулкана в 1937—1938 гг. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1938—1939, № 4, 5, 6, 7.
20. *С. И. Набоко.* Деятельность побочного кратера Билюкая в 1938 г. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1940, № 8.
21. *С. И. Набоко.* Об исследованиях сублиматов Ключевского вулкана. Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 1.
22. *П. Т. Новограбленов* и *П. Н. Чирвинский.* Авачинский вулкан на Камчатке, его извержения 1926—1927 гг. и петрографическая характеристика. Изв. Донск. политехн. ин-та, т. XIV, 1930.

23. *П. Т. Новограбленов.* Каталог вулканов Камчатки. Изв. Гос. русск. геогр. об-ва, т. 64, 1932, вып. 1.
24. *Б. И. Пийп.* Термальные ключи Камчатки. Тр. СОПС АН СССР, 1937.
25. *Б. И. Пийп.* Материалы по геологии и петрографии района рек Авачи, Россошиной и Налычевы на Камчатке. Тр. Камч. эксп. 1936—1937 гг., СОПС АН СССР, 1941, вып. II.
26. *Б. И. Пийп.* О названиях вулкан Ксудач и вулкан Штюбеля. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1941, № 9.
27. *Б. И. Пийп.* Извержение вулкана Авачи в 1938 г. Там же, № 10.
28. *Б. И. Пийп.* О раскаленных агломератовых потоках Авачи и о типе извержений этого вулкана. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1946, № 12.
29. *Б. И. Пийп.* Деятельность Камчатской вулканологической станции с июня 1941 г. по апрель 1943 г. Там же, № 13.
30. *Б. И. Пийп.* Вулкан Кизимен. Там же.
31. *Б. И. Пийп.* Новый побочный кратер вулкана Толбачика. Там же.
32. *Б. И. Пийп.* Извержения вулканов Камчатки в 1944—1945 гг. Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 6.
33. *В. Ф. Попков.* О деятельности Билюкая в 1938 г. Бюлл. Вулканол. ст. на Камч., 1946, № 12.
34. *А. В. Постельс.* Путешествие вокруг света на шлюпе «Сенявин» Ф. Литке. СПб., 1834—1836.
35. *K. Bogdanowitsch.* Geologische Skizze von Kamtschatka. Peterm. geogr. Mitt., Bd. 50, 1904.
36. *A. Erman.* Reise um die Erde durch Nord-Asien und die beiden Ozeane in d. J. 1828—1830. Bd. III. Berlin, 1836.

КАВКАЗ

37. *А. С. Гинзберг.* Геолого-петрографическое описание северо-восточного побережья озера Гокча. Бассейн озера Севан (Гокча). Изд. АН СССР, 1929.
38. *А. Н. Заварицкий.* Некоторые черты новейшего вулканизма Армении. Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 1.
39. *А. Н. Заварицкий.* О четвертичных вулканических туфах Армении. ДАН СССР, т. 53, 1946, № 8.
40. *Б. М. Куплетский.* Геолого-петрографический очерк восточной части Акманганского вулканического плато. Изд. АН СССР, 1929.
41. *П. И. Лебедев.* Вулкан Алагез и его лавы (Алагез, т. I). Тр. СОПС АН СССР, серия Закавк., 1931, вып. 3.
42. *Ф. Ю. Левинсон-Лессинг.* Вулканы и лавы Центрального Кавказа. Изв. СПб. политехн. ин-та, т. XX, 1913.
43. *Ф. Ю. Левинсон-Лессинг.* Армянское вулканическое нагорье. Природа, 1928, № 5.
44. *Ф. Ю. Левинсон-Лессинг.* Андезито-базальтовая формация центральной части Армении. Бассейн озера Севан (Гокча). Изд. АН СССР, 1929.

45. *К. Н. Паффенгольц.* Стратиграфия четвертичных лав Восточной Армении. Зап. Мин. об-ва, ч. 60, 1931, № 2.
46. *К. Н. Паффенгольц.* Бассейн озера Гокча (Севан). Тр. ВСЕГЕИ, вып. 219, 1934
47. *К. Н. Паффенгольц.* К вопросу о возрасте и генезисе туфолав Армении. Зап. Мин. об-ва, ч. 67, 1938, № 3.
48. *H. Abich.* Geologische Forschungen in den Kaukasischen Ländern. Geologie des Armenischen Hochlandes. Wien, 1882—1887.

ДРУГИЕ РАЙОНЫ

49. *И. К. Вислоух.* Вулканическая область Уюнь-Холдонги в Сев. Маньчжурии в расстоянии 1000 в. от моря, проявлявшая деятельность в 1720—1722 гг. Изв. Русск. геогр. об-ва, т. 47, 1911.
50. *А. П. Герасимов.* Оро-геологический очерк части Яблонового хребта и Витимского плоскогорья. Сборник памяти Мушкетова. СПб., 1905.
51. *А. Н. Заварицкий.* О вулканах окрестностей Мергеня и их лавах. Сборн. акад. Обручеву. Изд. АН СССР, 1939.
52. *П. И. Преображенский.* Вулкан Лопатина. Геол. вестн., 1915, № 6.

Член-корреспондент АН СССР

С. Ф. Федоров

ВЗГЛЯДЫ И. М. ГУБКИНА НА ГЕНЕЗИС НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



Научная деятельность академика И. М. Губкина была чрезвычайно обширной и разнообразной. Прежде всего и больше всего академик Губкин занимался вопросами геологии нефти. Широко известны его труды по вопросам разработки нефтяных месторождений. Он вложил много энергии в организацию нефтяного образования в нашей стране. Кто не знает блестящих результатов исследований Комиссии по изучению Курской магнитной аномалии (ОККМА), проведенных по указанию В. И. Ленина! Организатором и руководителем их был И. М. Губкин. Он занимался разработкой различных проблем горной промышленности, изучением и использованием естественных природных богатств нашей страны, изучением минерально-сырьевой базы Урала, проблемами Нагольного кряжа и Урало-Кузбасского комбината, исследованием четвертичных отложений и водных богатств СССР, проблемой бокситов, энергоресурсами Советского Союза, Большим Алтаем, орско-халиловской проблемой, вопросами геодезической науки и т. д.

Даже простое перечисление проблем, которыми занимался академик Губкин, указывает на чрезвычайный размах его научной деятельности. Автор данной статьи взял на себя труд осветить роль И. М. Губкина в разрешении проблемы генезиса нефтяных месторождений.

Первая скважина, давшая фонтанную нефть, была пробурена в 1886 г. на Кубани, в Крымско-Кудакинском месторождении. Впоследствии наибольшее значение здесь имела разработка Нефтяно-Ширванского месторождения, ставшего известным как Майкопский район.

Внешние нефтепроявления в Нефтяно-Ширванском районе были известны давно, но буровые работы были начаты лишь в 1908—1909 гг. Прорвавшийся 28 августа 1909 г. фонтан скважины фирмы Бакинско-Черноморского общества послужил началом бурной деятельности скважины, за 4 дня выбросившей более 15 тыс. т нефти. На четвертые сутки фонтан загорелся. «Пожар, продолжавшийся около 2 недель, послужил лучшей рекламой для вновь народившегося нефтеносного района, которым сразу заинтересовались широкие промышленные круги, особенно английские»,—писал И. М. Губкин [16]. Через год здесь было уже пробурено около 100 скважин. Лишь немногие из них были высокодебитными, а большинство — сухими, несмотря на то, что эти скважины закладывались по всем правилам разведочного дела и захватили зону длиной до 20 км.

Для наблюдения за буровыми работами и сбора материалов из этих скважин Геологическим комитетом летом 1910 г. и был командирован Губкин. Свои исследования в Нефтяно-Ширванском районе он продолжал в 1911 и отчасти в 1912 г. Обработав многие тысячи образцов пород из сотни скважин и увязав полученные разрезы с естественными обнажениями района, Губкин пришел к выводу, что нефть здесь залегает в *особых условиях*, какие не известны ни в нашей стране, ни среди мировых месторождений.

Геологическое строение Нефтяно-Ширванского района подробно было описано И. М. Губкиным в двух его монографиях [16, 17]. Им было установлено, что здесь имеется моноклиналь северного склона Главного Кавказского хребта, размытая процессами древней речной эрозии. Речная ложбина в фораминиферовых слоях в майкопское время была заполнена песчано-глинистыми породами и галечниками. В этих слоях затем образовалась своеобразная, в виде рукава, нефтяная залежь «Е».

При последующих тектонических процессах третичные осадки, а вместе с ними и рукавообразная залежь, были выведены из горизонтального положения и получили моноклинальное падение на северо-запад 20° под углом 10—15°.

Песчаные отложения майкопской свиты, образовавшие затем залежь «С», а также песчаные слои так называемых нефтянских и ширванских колодцев, представляют осадки береговых валов, или баров, вдоль древнего берега моря. Эти бары затем были трансгрессивно перекрыты глинами.

Уже в первой своей монографии, посвященной этому району, И. М. Губкин писал: «По отношению к Нефтяно-Ширванскому месторождению не может быть применена ни аргументация защитников теории вторичного залегания нефти, ни остроумная аргументация геолога Калицкого, столь последовательно проведенная им для Челекенского месторождения» [13, стр. 43]. Здесь мы имеем, добавляет Губкин, особую форму залежи нефти — рукавообразную залежь. Песчаные линзы, переходящие вверх по подъему в глины, и явились теми ловушками, в которых скопилась нефть. Пропитывание их нефтью началось, вероятно, еще тогда, когда они не вышли из горизонтального положения, причем нефтематеринскими породами явились майкопские глины, представляющие типичные сапропелевые образования.

В своей второй монографии [17] И. М. Губкин детально описывает строение рукава размыва и излагает разработанный им метод изображения формы нефтяных залежей. Метод этот впоследствии получил широкое распространение.

В 1912 г., ко времени издания второй монографии по этому вопросу, рукав был прослежен скважинами на 1 км. Впоследствии его проследили в том же направлении на 7 км.

Своими исследованиями в Нефтяно-Ширванском районе И. М. Губкин сделал два открытия: установил новую форму залежей нефти и газа, до того не известную, выявил условия ее формирования и разработал новый метод графического изображения форм нефтяных залежей.

Спустя 20 лет в США были также открыты залежи нефти такого типа, впервые описанные в 1934 г. в статье Н. В. Басса [57]. Такие залежи американцы назвали «шнурковыми» — «Shoe string sands».

Теоретические исследования И. М. Губкина в Нефтяно-Ширванском месторождении позволили по-новому вести разведку залежей нефти, и вскоре было установлено, что это месторождение — богатейшее на Северном Кавказе.

Еще в дореволюционные годы и позже, на лекциях в Московской горной академии, Губкин многократно высказывал предположение, что если

в Майкопском районе Северного Кавказа был выявлен один рукав размыва, то это явление должно иметь место и на других площадях, соседних с Нефтяно-Ширванским месторождением. Об этом же он писал в своей монографии «Учение о нефти» в 1931 г. Впоследствии, в докладе на XVII Международном геологическом конгрессе, ранее высказанные мысли академик Губкин сформулировал в виде следующего положения: «Подобные условия образования существовали не только в пределах Нефтяно-Ширванского месторождения, но и вдоль всей древней береговой линии и нам думается, что Хадыженское нефтяное месторождение и вновь открытые месторождения — Асфальтовой горы, Кура-Цеце, Широкой балки, Кутаисские и балки Безымянной — все они принадлежат к одному и тому же типу нефтяных залежей, охарактеризованных теперь термином стратиграфических ловушек, расположенных вдоль древней береговой линии» [18, стр. 19].

Наряду со своими исследованиями в Майкопском нефтеносном районе Губкин уже с 1913 г. начал детально изучать нефтяные месторождения Грозненской области — второй нефтеносной области Северного Кавказа.

В ряде статей и монографий И. М. Губкин описывает как отдельные нефтяные месторождения передовых хребтов Северного Кавказа, так и геологическое строение и нефтеносность Черных гор [19—22]. Свои теоретические взгляды на условия формирования нефтяных месторождений Терско-Дагестанской нефтеносной области Губкин изложил в докладе на XVII Международном геологическом конгрессе [18]. В этой работе академик Губкин описывает вначале морфологию отдельных структур и дает их классификацию. Все нефтяные месторождения Грозненской области в структурном отношении Губкин делит на три типа: 1) залежи нефти, приуроченные к антиклинальным складкам, 2) залежи козырьковые моноклинальные и 3) залежи висячие моноклинальные. Кроме этих трех основных типов, Губкин выделяет переходные формы. Сюда относятся залежи нефти в южной структуре Малгобека, приуроченные к прогнувшемуся своду. В пределах северного склона Черных гор развиты большие антиклинальные складки нормального типа (бенойская, датыхская и др.); к ним приурочены нефтяные залежи обычного антиклинального типа.

Как образовались такие структуры и приуроченные к ним нефтяные месторождения?

Тщательный анализ стратиграфии, тектоники, фаций осадков и их условий залеганий нефти дал И. М. Губкину основание сделать заключение о длительности периода образования указанных выше структур Грозненского и Дагестанского районов.

Ясные процессы горообразования в этой зоне Кавказа уже наметились в эоценовое и олигоценовое время. Резкое несогласие в напластовании между фораминиферовыми и майкопскими отложениями говорит о том же. В период между отложениями осадков низов майкопской свиты и до верхнего сармата включительно были в ряде случаев существенные колебания береговой линии. Отсутствие в некоторых пунктах Грозненского района, в особенности в Дагестане, отложений меотиса и понта говорит о значительных подъемах суши.

В промежутках между сарматом и понтом произошло, повидимому, образование основных антиклинальных складок в виде пологих брахиантиклинальных поднятий. В эпоху понта эти складки получают наиболее резкое выражение. «Мы полагаем, — говорит академик Губкин, — что при дальнейшем развитии структурных зон и их отдельных частей в формировании складок играют роль не только тангенциальные усилия, возникающие вследствие сокращения земной коры, но и вертикальное давление вследствие разности в нагрузке сводовых частей антиклиналов и соседних с ними депрессионных зон» [18, стр. 14]. Наступившая затем акчагыльская трансгрессия покрыла уже размытые своды круто поставленных антиклинальных складок. Окончательная моделировка структур произошла в послеапшеронское время.

Почти параллельно с происходившими тектоническими процессами и образованием структурных форм шло и формирование нефтяных залежей.

Накопление органического материала в осадочных породах происходило в век отложений майкопской свиты и второго средиземноморского яруса. Процесс превращения органического материала в нефть под действием различных факторов (бактериального разложения, температуры, давления и пр.) начался со времени погребения этого материала на морском дне и продолжался по мере погружения его в более глубокие зоны с более высокой температурой и давлением. Происходил, говорит И. М. Губкин, процесс образования диффузно рассеянной нефти в глинистых пластах сапропелевого типа.

«По мере увеличения давления и уплотнения осадков и прочего их диагенетического изменения, диффузно рассеянная нефть и сопровождавшие ее газы начали перемещаться в песчаные пласты майкопской свиты и второго средиземноморского яруса и распределяться в них по удельному весу. Весь этот процесс происходил до возникновения антиклинальных складок» [18, стр. 15].

По мере формирования антиклинальных складок в песчаных отложениях майкопской свиты и второго средиземноморского яруса происходило образование нефтяных залежей. Нефтесборной площадью служили соседние депрессии — Притеречная, Алханчуртская, Сунженская и др. Отсюда нефть и газы, находившиеся под водой в песчаных пластах, устремились к точкам наивысшего поднятия.

«Нефтяные залежи,— говорит академик Губкин,— все время приспособлялись к новым структурным формам. Начавшееся еще в предакчагыльское время разрушение структур с большей силой возобновилось в эпоху новых денудационных процессов, наступивших после акчагыльской и апшеронской трансгрессий. Разрушение структур сопровождалось и разрушением приуроченных к ним залежей нефти. Наиболее разрушенными оказались приподнятые части структур Терского, Сунженского и других хребтов Грозненского района. Структуры новогрозненская, старогрозненская, избербашская и др. оказались закрытыми в отношении песчаных слоев второго средиземноморского яруса, т. е. наименее разрушенными и наиболее богатыми нефтью.

Сохранились также залежи нефти в поднадвиговых слоях. Факт наличия нефти в этих структурах указывает на то, что нефтяные месторождения в целом были сформированы до начала дизъюнктивных дислокаций, т. е. в предакчагыльское время».

Из этих теоретических положений И. М. Губкина с непреложностью следует, что наиболее богатые залежи нефти следует искать в более погруженных структурах и в поднадвигах. Открытие нефти в закрытой структуре близ Махач-Кала, а также в поднадвиге к западу от Гудермеса подтверждает прогнозы И. М. Губкина.

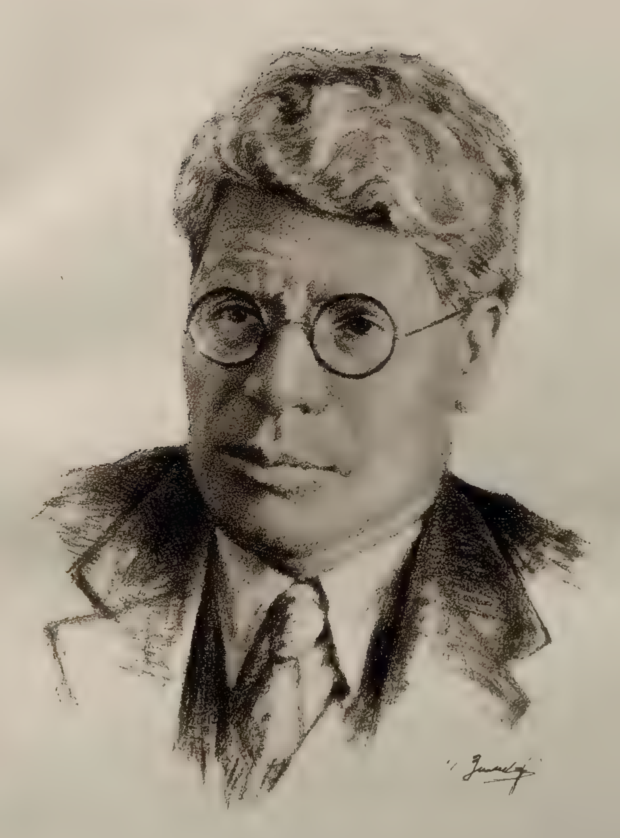
Нефтяные месторождения Азербайджана были и остаются до сих пор важнейшими в нефтедобыче нашей страны. Расширение нефтеносного фонда упиралось в свое время в решение проблемы грязевого вулканизма. Грязевые вулканы в Азербайджане имеют очень широкое распростра-

нение: из 250 крупных грязевых вулканов Кавказа здесь расположено более 200. Многие считали, что наличие грязевых вулканов является отрицательным показателем при оценке перспектив нефтеносности. Естественно, что Губкин, занимавшийся изучением геологического строения и нефтеносности Азербайджана, огромное внимание уделил проблеме грязевого вулканизма вообще и юго-восточной части Кавказа в особенности [23, 24].

Проанализировав огромный фактический материал по вопросу о геологическом строении юго-востока Кавказа, И. М. Губкин отмечает, что все грязевые вулканы приурочены к структурам диапирового типа. Диапиризм является общим законом в тектонике всей области погружения юго-восточного Кавказа. Куполообразные структуры Азербайджана, которые считались куполами нормального строения, с геоморфологической точки зрения являются как будто нормальными куполами, а генетически — недоразвитыми диапировыми структурами, т. е. криптодиапировыми. У так называемых «нормальных» структур Азербайджана, как и у структур диапировых, одна и та же причина, их обусловившая. «Нельзя же думать, — говорит И. М., — что в районе Бог-бога действовали одни тектонические факторы, а в 5 км восточнее, в Сураханах, в пределах той же тектонической линии, действовали другие факторы. Причина общая, но стадия диапиризма разная» [23, стр. 43].

Образование грязевых вулканов и нефтяных месторождений юго-восточной части Кавказа тесно связано с диапиризмом и обусловлено им. Геологическое строение этой зоны Кавказа, нефтеносность и грязевой вулканизм составляют, по Губкину, единое генетическое целое; газо- и нефтепроявления и грязевой вулканизм являются следствием одних и тех же причин, именно функцией геологического строения, в частности следствием особых форм тектоники — диапировых структур. «Диапировая структура, нефтяное месторождение и грязевой вулкан — это триединая сущность единого целостного процесса геологического развития области погружения и опускания Кавказского хребта» [23, стр. 44].

В юго-восточной части Кавказа в третичное время шла непрерывная борьба суши и моря; трансгрессии сменялись регрессиями. В этой зоне в ряде случаев были благоприятные условия для осаждения слоев, богатых органикой, которая дала начало нефтепроизводящим свитам. Таких нефтепроизводящих свит И. М. Губкин отмечает несколько, а именно;



1) прослои битуминозных и горючих сланцев среди сумгаитской серии; 2) слои так называемого «бурого коуна», представляющие типичную породу сапропелевого типа; 3) битуминозные глины и сланцы майкопской свиты; 4) спириалисовые слои; 5) диатомовая свита.

Интенсивный размыв соседней кавказской суши содействовал энергичному накоплению осадков, быстрому погребению органического материала и опусканию его во все более глубокие зоны, что сопровождалось подъемом температуры и ростом давления, содействовавшими процессу нефтеобразования и газообразования, чему помогала и деятельность анаэробных бактерий.

Сложные и длительные тектонические процессы, столь характерные для зоны погружения Кавказского хребта при наличии в разрезе пластичных пород, и послужили причиной формирования складок диапирового типа. А как только начался этот процесс, то к ядрам складок, как к наиболее поднятым и наиболее разрыхленным местам, начал совершаться подток в о д ы, г а з а, а потом и н е ф т и. Так формировались нефтяные залежи и месторождения юго-восточной части Кавказа: основные нефтеносные области Азербайджана, месторождения Апшеронского полуострова, Прикуринской зоны, зоны Архипелага, морских островов Каспия и месторождения Прикаспийской зоны.

Известно, что в Азербайджане имеются в ряде случаев диапировые структуры, но в них нет нефти. Такие структуры широко развиты в северном Кабристане. «Я лично объясняю это тем,— говорит И. М. Губкин,— что здесь основные нефтепроизводящие свиты залегают наверху... Мне думается, что и в предыдущие геологические века они не опускались столь глубоко под дном моря, чтобы попасть в условия, благоприятные для окончательного превращения содержавшегося в них органического вещества в нефть. Такие диапировые складки пусты, они не содержат ни нефти, ни газа. На них нет и грязевых вулканов».

Известны диапировые структуры, содержащие только газ. Такие структуры тоже расположены в северной части Кабристана. Здесь глубокие мезозойские горизонты могли оказаться источниками питания структур т о л ь к о г а з о м.

Совместное нахождение на диапировой структуре грязевого вулкана и залежей нефти, говорит Губкин, не требует пояснений — все изложенное выше является объяснением этого замечательного сочетания.

Наличие структур с мощными нефтяными и газовыми скоплениями, но не имеющими грязевого вулкана, как это наблюдается в Сураханах, Кале и т. д., Губкин объясняет недоразвившимся здесь диапиризмом: ядро протыкания здесь лишь приподняло вышележащие молодые породы.

Таким образом, анализируя явления диапиризма, академик Губкин создал и теорию грязевого вулканизма, и теорию формирования нефтяных месторождений юго-восточной части Кавказа, куда входят важнейшие нефтеносные области Азербайджана. Исследования Губкина по проблеме грязевого вулканизма являются классическим завершением столетних исследований данной проблемы многочисленными исследователями.

Нефтеносностью Урало-Поволжья И. М. Губкин серьезно начал заниматься по заданию В. И. Ленина и И. В. Сталина в 1920—1921 гг., когда центральные районы страны были отрезаны интервентами от кавказских месторождений. О признаках нефтеносности в Урало-Поволжье известно более 150 лет, еще со времени Рычкова, академика Лепехина и Палласа. Однако о нефтеносности Поволжья мнения были крайне противоречивы.

В своей работе «Урало-Волжская нефтеносная область — Второе Баку» Губкин говорит, что область Урало-Поволжья по своему геологическому строению аналогична области среднего континента США. Спокойно залегающие осадочные породы здесь находятся на докембрийском фундаменте. Последний реагировал на тектонические движения в соседних геосинклинальных областях, и под их влиянием нарушалась монолитность его залегания: он разбивался по некоторым направлениям на огромные глыбы, и эти глыбы взаимно перемещались. Перемещение глыб фундамента, несомненно, влияло на тектонику выше залегающих палеозойских свит, образуя вторичную складчатость в виде пологих валов — антиклинальных складок, осложненных иногда сбросо-сдвиговыми дислокациями (Самарская лука).

Рассматриваемая область Второго Баку, по Губкину, состоит из двух геологических провинций: 1) восточной половины Русской платформы и 2) западного Приуралья, примыкающего с запада к складчатому Уралу.

В пределах Урало-Волжской впадины наиболее древними слоями являются породы верхнего и среднего девона. Вопрос о существовании более древних горизонтов палеозоя остается открытым. Этим осадкам девона академиком Губкиным дается краткая по форме, но содержатель-

ная по существу характеристика. Далее описываются фации слоев каменноугольной и пермской систем. Особенное внимание обращается на наличие в разрезах пористых пород — возможных коллекторов нефти.

Большое внимание в данной работе И. М. Губкина уделяется вопросу об условиях залегания нефти — о первичности и вторичности нефтяных залежей, от правильного решения которого зависит как оценка перспектив нефтеносности, так и направление дальнейших разведочных работ.

Проанализировав огромный фактический материал и по литературным и по фондовым источникам, а также на основе личного посещения и изучения месторождений, академик Губкин приходит к выводу о вторичности залегания нефти и в пермских и в каменноугольных отложениях.

Разведочное бурение, говорит Губкин, подтвердило смелые выводы Романовского. Заявление Замятина о миграции сверху вниз Губкин считает мудреным и неправдоподобным.

Многие геологи, говорит академик Губкин, ставили и стремились разрешить вопрос о первичности или вторичности образования нефтяных месторождений Урало-Поволжья, понимая огромное практическое значение того или иного решения этого вопроса. «Более или менее определенную позицию в решении этого вопроса заняли геологи Романовский, Штукенберг, Павлов и Иванов, которые стояли на точке зрения вторичного образования нефтяных залежей среди отложений пермской системы и их генетической связи с более глубокими основными нефтяными залежами. Это — прогрессивный взгляд, который побуждал к изучению залегания нефти, толкал на производство глубокого разведочного бурения» [25, стр. 17].

По Губкину, внешние нефтепроявления в пермских слоях Урало-Поволжья, в особенности в татарских и уфимских континентальных отложениях, свидетельствуют о вторичном залегании здесь нефти, поэтому мощные залежи нефти и газа следует искать в более глубоких отложениях.

Нефтяные месторождения Урало-Поволжья являются платформенными. Но строение нашей платформы, говорит И. М. Губкин, не такое простое, как многие думают. Для расшифровки геологического строения новой нефтеносной области он рекомендует, в помощь геологам, геофизические методы разведки. Необходимо применять структурную съемку, сопровождая ее буровыми станками легкого типа, а также палеонтологический анализ для расшифровки стратиграфии. Следует изучать

биономические условия образования осадков в целях расшифровки одного из труднейших вопросов нефтяной геологии — вопроса об условиях накопления органического материала, из которого потом, путем сложных химических и биохимических преобразований, произошла нефть. Требуются серьезные исследования для изучения физико-химической природы этих веществ.

Далее Иван Михайлович ставит задачу изучения условий образования донных илов как в пресноводных бассейнах, так и в полупресноводных и в бассейнах с нормальной соленостью, чтобы расшифровать те процессы нефтеобразования, которые совершались в прежние геологические эпохи. Вода, говорит он, враг нефти, и это совершенно правильно: она заводняет пласты, ее нужно поэтому хорошо изолировать. Но она, вместе с тем, и друг нефти, так как играет огромную положительную роль при формировании нефтяных залежей. Вода, следовательно, должна тщательно и всесторонне изучаться геологами-нефтяниками. Изучение петрографии осадочных пород имеет очень большое значение не только для решения вопросов стратиграфии. Изучение минералогического состава пород позволяет определить путь и источники сноса, а также судить о биономической обстановке, в которой происходило отложение органики. Фации коллекторов — один из решающих факторов нефтенасыщения. Этот вопрос решается также петрографами.

Вот комплекс тех вопросов, разрешением которых должна заниматься нефтяная геология.

В этой работе академик Губкин не только разрешил главные проблемы геологии нефти Урало-Поволжья, но и указал основные вехи для дальнейшего развития этой науки.

Новая нефтеносная область — область Урало-Поволжья является второй жемчужиной нашей страны, второй мощной нефтеносной базой, колоссальные возможности которой трудно переоценить.

Природа наградила нас огромными богатствами нефти, говорит в заключение своей работы о Втором Баку И. М. Губкин. Урало-Поволжье — «это огромная область, которой по величине нет равной в мире» [25, стр. 10].

Здесь нефтеносны и пермские отложения, и отложения карбона; возможна нефтеносность и девонских отложений. Прогнозы академика Губкина о возможной нефтеносности девона оказались пророческими: в 1944 г. на Самарской луке и в Туймазах из девонских отложений получена нефть

хорошего качества и в огромном количестве. Летом 1945 г. из девона получена нефть в Северо-Камске и в Татарии.

Открытие девонской нефти в районах Второго Баку совершило коренной переворот в развитии учения о нефтеносности Урало-Поволжья. В этом блестящем открытии коллектива нефтяников главная заслуга принадлежит Губкину.

Труд И. М. Губкина «Урало-Волжская нефтеносная область» является замечательным образцом научной работы.

Академик Губкин занимался условиями образования нефтяных месторождений и других нефтеносных областей — Грузии, Эмбы, Средней Азии, Сибири, Ухты — и по каждой из этих областей сказал свое слово, определившее направление практических работ на ряд лет.

Как известно, при решении вопросов образования нефтяных месторождений существенное значение имеет тот или другой взгляд на миграцию нефти. В этом отношении все исследователи разделялись на два лагеря: одни отрицали возможность миграции нефти на сколько-нибудь значительные расстояния, другие, наоборот, допускали миграцию, в том числе и вертикальную, на огромные пространства. Некоторые придавали особое значение сбросам, считая их положительным фактором. Геолог А. П. Иванов, например, считал даже необходимым бурить на нефть именно в зоне сбросов; проф. К. П. Калицкий придерживался совершенно противоположной точки зрения.

Академик Губкин полагал, что при разных геологических условиях образуются разные залежи нефти: в одних случаях могут образовываться первичные нефтяные залежи, а в других — вторичные. Вопрос о первичности или вторичности залежи должен решаться на основании масштабов миграции и ее путей. Таким образом, И. М. Губкин в понятие первичной или вторичной залежи не вкладывал того крайнего понимания, как это делал Калицкий. Примером первичных месторождений, по Губкину, являются месторождения Терско-Дагестанской нефтеносной области и месторождения Нефтяно-Ширванской группы на Кубани. Среди вторичных имеются месторождения с ограниченными масштабами миграции и такие, миграция в которых достигает по вертикали нескольких тысяч метров, например на Апшеронском полуострове.

И. М. Губкин признает оба основных вида миграции: вертикальную и пластовую. Однако при формировании нефтяных залежей окончательное

и решающее значение имеет, по Губкину, не вертикальная миграция, а пластовая. В связи с указанным положением он вводит в нефтяную геологию новое понятие — «нефтесборная площадь», аналогично водосборной площади.

Своими исследованиями Губкин показал, что образование нефтяного месторождения есть весьма длительный процесс, начавшийся вскоре после отложения на дне водоема органики и продолжающийся вплоть до наших дней. Самая нефть появилась до образования структурных форм.

Прошло восемь лет после смерти академика Губкина. За это время появилось немалое количество новых работ по геологии нефти, но исследования Губкина по проблеме генезиса нефтяных месторождений остаются такими же актуальными, какими они были 10—15 лет назад.

В нашей стране за годы, прошедшие после смерти И. М. Губкина, появилось очень много работ и старых геологов-нефтяников и новых исследователей. За последнее время, например, широкое распространение получила сводная работа К. П. Калицкого «Научные основы поисков нефти» [36], в которой ее автор выявил свое научное кредо.

В ряде опубликованных статей [7—9] В. В. Вебер, став на точку зрения Калицкого, доказывает «первичность» залежей нефти даже для таких месторождений, как месторождения Апшеронского полуострова, приуроченные, как известно, главным образом к продуктивной свите и вторичность залежей нефти в которых давно доказана.

В 1941 г. проф. В. Б. Порфирьев опубликовал работу, посвященную проблемам нефтеобразования [43]. Работа эта, в основном компилятивная и весьма полезная, трудной проблемы нефтеобразования все же не разрешает.

В ряде журнальных статей и отдельных монографий проф. М. Ф. Мирчинк опубликовал свои исследования, посвященные нефтяным месторождениям Азербайджана [38, 39 и др.]. Эти серьезные работы посвящены классификации нефтяных месторождений Азербайджана в свете новых данных: особое внимание в них уделено залежам нового для Азербайджана типа — стратиграфическим.

Весьма продуктивными за эти годы были исследования В. А. Горина, посвященные генезису нефтяных месторождений Апшеронского полуострова. В своих многочисленных статьях и брошюрах Горин рассматривает

условия образования залежей нефти в продуктивной толще вообще и в ее нижнем отделе в особенности [12—15]. Не со всеми положениями автора этих исследований можно согласиться. Но справедливость требует отметить серьезную научную значимость концепции Горина. Исследования Мирчинка и Горина, расходясь по ряду вопросов, ставят на разрешение и частично разрешают новые вопросы нефтяной геологии Азербайджана.

Монография проф. А. А. Ализаде о майкопской свите Азербайджана [4] находится в полном соответствии с давно высказанной идеей И. М. Губкина о большой роли этой свиты в нефтеносности Кавказа. Положения Губкина — Ализаде уже подтверждены мощными нефтяными фонтанами в Кировабадском районе.

По выявлению закономерности геологического строения и нефтеносности Грузии и Туркмении выделяются исследования проф. М. И. Варенцова [5, 6 и др.]. Помимо многочисленных журнальных статей, проблемам нефтеносности Грузии посвящена специальная монография Варенцова.

Существенный вклад в развитие нефтяной геологии внесли исследования проф. П. П. Авдусина по изучению природы нефтяных коллекторов песчаного типа. Разработанная им с М. А. Цветковой и другими сотрудниками классификация коллекторов по-новому освещает эту трудную проблему [1—3].

В. А. Сулин с сотрудниками своей лаборатории далеко продвинул вперед вопрос о генезисе и классификации природных вод вообще и нефтяных в особенности [46].

Другое направление в изучении природных вод и выявлении их роли в формировании нефтяных залежей возглавляет Н. К. Игнатович [29—31] и другие сотрудники ВСЕГИНГЕО (Толстой, Силин-Бекчурин).

Последние работы С. Ф. Федорова посвящены разработке методики и оценке перспектив нефтеносности и классификации нефтяных месторождений [51—54].

Отрадно отметить участие гидрогеологов в разрешении основных проблем геологии нефти. Особенно выделяются указанные выше исследования Игнатовича, в которых выясняется роль воды в формировании нефтяных месторождений и, в связи с этим, необходимость изучения гидрогеологии как фактора оценки нефтеносности [30]. Разработке этого вопроса И. М. Губкин придавал большое значение.

Далеко продвинулось вперед изучение условий образования нефтяных месторождений Ишимбаевского типа. Здесь особенно много и плодотворно поработали башкирские геологи [40, 44, 47, 55] и среди них — А. А. Трофимук [47]. Выяснены и причины образования рифогенных массивов, и условия появления нефтяных залежей, приуроченных к этим массивам.

Эти и другие исследования, здесь за краткостью статьи не упомянутые, показывают, что за годы после смерти И. М. Губкина советскими учеными много сделано в области развития отдельных проблем геологии нефти. Геология нефти признана самостоятельной научной дисциплиной, и отдельные области ее получили дальнейшее развитие; некоторые из них разрабатываются многочисленной и продуктивно работающей армией геологов-нефтяников США. Развиваются и исследования по проблеме генезиса нефти и нефтяных месторождений. Но монолитная фигура русского ученого — академика И. М. Губкина выделяется как среди геологов-нефтяников нашей страны, так и среди зарубежных исследователей. Учение Губкина об условиях формирования нефтяных и газовых месторождений, разработанное им на примерах наших выдающихся нефтеносных областей, является огромным и пока непревзойденным вкладом в сокровищницу новой науки — геологии нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. *П. П. Авдусин* и *М. А. Цветкова.* Структура поровых пространств коллекторов нефти. ДАН СССР, т. XX, 1938, № 2—3.
2. *П. П. Авдусин* и *М. А. Цветкова.* О классификации коллекторов нефти. ДАН СССР, т. XII, (2), 1943.
3. *П. П. Авдусин.* Фации коллекторов нефти в нижнекаменноугольных отложениях Волго-Уральской области. Пробл. сов. геол., 1944, вып. 3.
4. *А. А. Ализаде.* Майкопская свита Азербайджана и ее нефтеносность. Азнефтеиздат, Баку, 1945.
5. *М. И. Варенцов.* Геологическое строение и нефтеносность Куринской депрессии и смежных областей Большого и Малого Кавказа. Изд. АН СССР, 1947.
6. *М. И. Варенцов.* Проблема нефтеносности Туркмении Изд. СОПС АН СССР, 1940.
7. *В. В. Вебер.* Нефтеносность и фации продуктивной толщи. Изв. АН СССР, сер. геол., 1945, вып. 2.
8. *В. В. Вебер.* Фации и перспективы нефтеносности Эмбенской области. Нефт. хоз-во, 1945, № 2—3.

9. *В. В. Вебер.* Нефтеносность миоцена юго-восточного Кавказа. Изв. АН СССР, серия геол., 1946, вып. 4.
10. *Генгросс* 2-й. Отчет штабс-капитана Генгросса 2-го о поисках, произведенных по поручению горного начальства в Симбирской, Казанской, Оренбургской губ., для открытия месторождений асфальта. Горн. журн., 1837, 4, кн. 10.
11. *Д. В. Голубятников.* Сураханская газоносная и нефтеносная площадь. Изв. Геол. к-та, 1908, стр. 181—222.
12. *В. А. Горин.* К вопросу поисков новых залежей нефти на Апшеронском п-ове. Аз. нефт. хоз-во, 1939, № 3.
13. *В. А. Горин.* Роль тектонических нарушений при распределении нефти в отложениях Апшеронского п-ова. Аз. нефт. хоз-во, 1940, № 8.
14. *В. А. Горин.* Поиски новых нефтяных залежей в продуктивной толще Апшеронского п-ова. Азнефтеиздат, 1944.
15. *В. А. Горин.* О некоторых закономерностях в распределении нефти в подкирмакинской свите при боковой миграции. Аз. нефт. хоз-во, 1946, № 2—3.
16. *И. М. Губкин.* Майкопский нефтеносный район. Нефтяно-Ширванская площадь. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 78, 1912.
17. *И. М. Губкин.* К вопросу о геологическом строении средней части Нефтяно-Ширванского месторождения нефти. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 88, 1913.
18. *И. М. Губкин.* К вопросу о генезисе нефтяных месторождений Северного Кавказа. Тр. XVII Межд. геол. конгр., т. IV, 1937.
19. *И. М. Губкин.* Грозненский нефтеносный район. Нефт. хоз-во, 1920, № 9—12.
20. *И. М. Губкин.* Основные вопросы разработки и разведки нефтяных месторождений Ново-Грозненского и Майкопского районов. Нефт. хоз-во, 1930, № 11.
21. *И. М. Губкин.* Северо-Кавказский край неисчерпаемых богатств. Соц. стр. Сев.-Кавк. края, 1935, № 2.
22. *И. М. Губкин.* Мировые запасы нефти. Тр. XVII геол. конгресса, т. I, 1937.
23. Академик *И. М. Губкин.* Тектоника юго-восточной части Кавказа в связи с нефтеносностью этой области. ОНТИ, 1934.
24. Академик *И. М. Губкин* и *С. Ф. Федоров.* Грязевые вулканы Советского Союза и их связь с нефтеносностью. Тр. XVII геол. конгр., т. IV, 1937.
25. Академик *И. М. Губкин.* Урало-Волжская нефтеносная область (Второе Баку). Изд. АН СССР, 1940.
26. Академик *И. М. Губкин.* Учение о нефти. Изд. II, ОНТИ, 1937.
27. *А. П. Иванов.* Челекенское нефтяное месторождение. Дневник XI съезда русских естествоисп. и врачей, 1901, № 10.
28. *А. П. Иванов.* Челекенское месторождение. Нефт. дело, 1903, № 6, 7 и 8.
29. *Н. К. Игнатович.* О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, нов. сер., т. XLV, 1944, № 3.
30. *Н. К. Игнатович.* О региональных гидрогеологических закономерностях в связи с оценкой условий нефтеносности. Сов. геол., 1945, № 6.
31. *Н. К. Игнатович.* К вопросу о гидрогеологических условиях формирования и сохранения нефтяных залежей. ДАН СССР, т. XLVI, 1945, № 5.

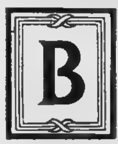
32. *К. П. Калицкий.* Об условиях залегания нефти на о-ве Челекене. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 59, 1910.
33. *К. П. Калицкий.* Нефтяная гора. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 95, 1914.
34. *К. П. Калицкий.* Нефтяные месторождения Казанской, Уфимской и Самарской губ. Изв. Геол. к-та, 1920, № 3—6.
35. *К. П. Калицкий.* То же. Нефт. и сл. хоз-во, 1920, № 1—3.
36. *К. П. Калицкий.* Научные основы поисков нефти. Гостоптехиздат, 1944.
37. *Д. И. Менделеев.* Нефтяная промышленность в северо-американском штате Пенсильвания и на Кавказе. СПб., 1877.
38. *М. Ф. Мирчинк.* О классификации нефтяных месторождений Азербайджана по структурным признакам. Аз. нефт. хоз-во, 1940, № 5.
39. *М. Ф. Мирчинк.* Стратиграфические залежи в Азербайджане. Азгостоптехиздат, 1941.
40. *П. Ф. Михалев.* Стерлитамакско-Ишимбаевский нефтеносный район. Вост. нефть, 1940, № 1.
41. *А. В. Нечаев* и *А. Н. Замятин.* Геологические исследования северной части Самарской губ. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 84, 1913.
42. *А. П. Павлов.* Самарская лука и Жигули. Тр. Геол. к-та, 1885.
43. *В. Б. Порфирьев.* Проблема нефтеобразования в свете современных данных. Гостоптехиздат, 1941.
44. *О. Ф. Радченко.* Аллохтонность нефти Ишимбаевского месторождения по данным геохимического изучения битумов. Тр. НГРИ, сер. А, вып. 115, 1939.
45. *Г. О. Романовский.* О самарских нефтяных источниках. Горн. журн., 1868.
46. *В. А. Сулин, А. А. Варов* и *Л. А. Гуляева.* Воды нефтяных месторождений Второго Баку (печатается).
47. *А. А. Трофимук.* Где и как искать нефть в Башкирии. Вост. нефть, 1940, № 5—6.
48. *С. Ф. Федоров.* Академик Иван Михайлович Губкин. Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 3.
49. *С. Ф. Федоров.* Памяти академика И. М. Губкина. Вестн. АН СССР, 1944, № 6.
50. *С. Ф. Федоров.* Академик И. М. Губкин — основоположник высшего нефтяного образования в нашей стране. Тр. Моск. нефт. ин-та, Юб. сб., 1947.
51. *С. Ф. Федоров.* О прогнозах нефтеносности. ДАН СССР, нов. серия, т. XXVIII, 1940, № 1.
52. *С. Ф. Федоров.* О методике составления карт прогноза нефтеносности. Вестн. АН СССР, 1940, № 3.
53. *С. Ф. Федоров.* Условия формирования нефтяных месторождений Второго Баку и методы их поисков. Отчет о деят. АН СССР за 1945 г.
54. *С. Ф. Федоров.* Основные типы нефтяных месторождений Урало-Поволжья. Рефер. сб. ОТН, 1945.
55. *Д. Ф. Шамов.* Геологическое строение Ишимбаевского нефтеносного района. Сов. геол., 1940, № 11.
56. *K. Abich.* Ueber eine im Caspischen Meere erschienene Insel. Mém. de l'Acad. Imper. des Sciences, St.-Pét., VII série, t. VI, 1863, № 5.

57. *N. W. Bass.* Origin of Bartlesville shoe string sands. Bull. Am. Ass. Petr. Geol. (BAAPG), 1934, № 10.
58. *F. R. Clark.* Origin and Accumulation of Oil. Sidney Powers Memorial Volum. Tulsa, BAAPG, 1934, pp. 309—335.
59. *S. T. Hunt.* Notes on the History of Petroleum or Rock oil. Canadian Naturalist, vol. 6, 1861, № 7, pp. 214—255.
60. *A. W. McCoy.* On the Migration of Petroleum through Sedimentary Rock. BAAPG, vol. 2, 1918. pp. 168—171.
61. Possible Future Oil Provinces of the United States and Canada. Edited by A. Levorsen, BAAPG, 1941.
62. Problems of Petroleum Geology. Sidney Powers Memorial Volum. BAAPG, Tulsa, Oklahoma, 1934.
63. *I. L. Rich.* Function of Carrier Beds in Long Migration of Oil. BAAPG, 1931, pp. 911—924.
64. *I. L. Rich.* Problem of the Origin. Migration and Accumulation of Oil. Sidney Powers Memorial Volum, 1934.
65. *H. D. Rogers.* Coal and Petroleum. Good Words, vol. 3, London, 1863. pp. 374—379.
66. Stratigraphic Type Oil Fields. Edited by A. Levorsen. BAAPG, Tulsa, Oklahoma, 1941.
67. *P. D. Trask* and *H. W. Patnode.* Source beds of Petroleum. BAAPG, Tulsa, Oklahoma, 1942.
68. *F. M. Van-Tuyl* and *B. H. Parker.* The Time of Origin and Accumulation of Petroleum. Colorado School of Mines Quarterly, vol. 36, 1941, № 2.
69. *F. M. Van-Tuyl, B. H. Parker* and *W. W. Skeeters.* The Migration and Accumulation of Petroleum and Natural Gas. Colorado School of Mines Quarterly, vol. 40, 1945, № 1.

Академик

П. И. Степанов

ТЕОРИЯ ПОЯСОВ И УЗЛОВ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ



предлагаемой статье излагается теория поясов и узлов угленакопления. Эта работа была начата автором после 1913 г., но развилась лишь после 1917 г. и оформилась в первоначальном ее контуре к 1937 г. — времени созыва XVII Международного геологического конгресса, созванного в СССР. Таким образом, разработка излагаемой теории относится к годам советской власти, которой в 1947 г. исполняется 30 лет.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют данные, характеризующие стратиграфическое и палеогеографическое распределение месторождений ископаемого угля на земном шаре. Вот некоторые из этих данных.

В Европе, в направлении от севера к югу, насыщение запасами угля угленосных отложений постепенно переходит к более молодым стратиграфическим подразделениям. Так, на севере (о-в Медвежий) угли появляются в верхнем девоне, южнее следует полоса нижнего карбона (Подмосковный бассейн), а еще южнее — полоса среднего и верхнего карбона (вестфальские угли), включающая главнейшие бассейны Европы, начиная на западе с английских и кончая на востоке Донецким.

Наблюдается отчетливая тенденция перемещения геологического возраста интенсивности угленосности на территории СССР в направлении с запада на восток в следующей последовательности: нижний карбон

(Подмосковный бассейн, Урал), пермь (Кузбасс), юра (Иркутский бассейн и другие), третичные отложения (месторождения ДВК и о-в Сахалин).

На территории США 100-й меридиан з. д. от Гринвича служит четкою границею, по которой происходит смена палеозойских угольных месторождений восточных штатов на кайнозойские бассейны западных штатов.

60-й и 80-й меридианы в. д. от Гринвича служат на территории СССР отчетливою границею смены угольных месторождений карбонового возраста пермскими и более молодыми.

Таким образом, по 100-му меридиану з. д. и 60-му и 80-му меридианам в. д. земной шар делится на два полушария: 1) тяготеющее к Атлантическому океану, с преобладанием угольных месторождений карбонового возраста, и 2) тяготеющее к Тихому океану, с преобладанием угольных месторождений, начиная от пермских отложений и кончая третичными.

Отмеченные соотношения не могли ускользнуть от внимания пытливого научного исследования и заставили задуматься над вопросом, *существует ли определенная закономерность в распределении на земном шаре угольных месторождений или они возникают случайно.*

Над разрешением этого вопроса работал и работает ряд ученых. Научная мысль подходит к разрешению поставленного вопроса с различных точек зрения, сосредоточиваясь на отдельных частях этой сложной проблемы.

Группа палеоботаников в основу своих работ кладет анализ процесса возникновения, развития и распространения по лику земли древней и современной растительности (Цейлер [32], Сьюорд [12], Готан [18, 19], Потонье [22], Ионгманс, Залесский [2, 3], А. Криштофович [4—7]).

Далее следует группа ученых, которые выдвигают на первое место причины геотектонические: Фрех [17], Штилле [27, 28], Бубнов [14—16], Тетяев [30], Вегенер [1], Кеппен [20], Крейхгауэр [21], Зимрот [25], Личков [8], стремятся разрешить эту проблему путем разработки вопроса о древних климатах, перемещении полюсов и передвижении материков.

Автор предлагаемой статьи считает, что возникновение месторождений угля на земном шаре подчинено вполне *определенным закономерностям* и является результатом комплекса сложных явлений, которые переживал и переживает наш земной шар. Автор считает, что эта проблема может быть разрешена не путем разработки отдельных, часто

изолированных друг от друга тем, а целым комплексом научных дисциплин — астрономических, геофизических (изучение геоида), климатических, ботанических, геотектонических и ряда других, связанных с геологией вообще и геологией угля в частности.

Но убедительный ответ на выдвигаемые этими дисциплинами вопросы может последовать лишь в том случае, если будет найден метод проверки полученных выводов с цифровыми данными.

Наиболее рациональным методом, с нашей точки зрения, может явиться стратиграфический и палеогеографический анализ весовых и объемных масс ископаемых углей, существующих на земном шаре и возникших в продолжение жизни земного шара. Этот метод даст возможность подтвердить теоретические соображения и научные гипотезы вполне определенными цифровыми данными. Он позволит классифицировать угольные месторождения, существующие на земном шаре, в отношении заключенных в них масс угля, следовательно, в отношении их запасов. Это поможет обнаружить важнейшие массы скопления ископаемых углей на земном шаре, отделить их от многочисленных мелких угольных месторождений, которые покрывают поверхность земли и затушевывают общую картину процесса угленакопления.

Наконец, этот метод даст возможность отыскать центры возникновения массового накопления ископаемых углей, изучить пути распространения растительных масс по лику земли и разрешить вопрос о возможных узлах и поясах угленакопления на земном шаре. Этот метод мы смогли применить только после 1913 г., когда был впервые произведен учет запасов углей на земном шаре. Работа эта была выполнена усилиями геологов всех стран ко времени созыва в Канаде XII Международного геологического конгресса [31].

Прежде чем будет начато изложение поставленной темы, необходимо коснуться некоторых понятий и дать некоторые пояснения, необходимые для дальнейшего изложения. Так, необходимо сказать о применяемом мною понятии «угленакопление» [9, 10, 11].

Возникновение угольных месторождений на земном шаре и современное их объемное состояние являются результатом процесса угленакопления.

Под угленакоплением я понимаю комплекс всех тех явлений, которые переживал каждый угольный бассейн от начала его возникновения и до уничтожения. В этом общем геолого-историческом процессе можно отличить три важнейшие его части, три этапа: 1) явления, в результате которых на неугленосном ложе бассейна возникает накопление угленосной толщи, покрытой или не покрытой неугленосными отложениями; 2) процессы, которые изменяют первоначально накопившуюся угленосную толщу с подчиненными ей угольными залежами, что обусловливается преимущественно тектоникой и метаморфизмом; 3) процессы разрушения угленосной толщи.

В результате проявления этих трех этапов общего процесса угленакопления и создавался угленосный массив — носитель угольных богатств того или другого бассейна.

Всестороннее изучение процесса угленакопления дает возможность разрешить один из важнейших вопросов угольной геологии — определение угольных богатств месторождения, т. е. его угленосность.

Действительно, угленосность месторождения всецело зависит от характера процесса накопления, именно от тех геологических условий, которые способствовали возникновению угольных пластов, их количеству, характеру чередования в угольной толще, мощности, строению и выдержанности по простиранию. Свойства самой угольной массы — это функция и процесса накопления, и процесса изменения. От них зависит, какие сорта углей находятся в месторождении, — сапропелевые или гумусовые, бурые или каменные, чистые или зольные, с осложняющими их применение в промышленности примесями или без них. Наконец, условия разработки углей, т. е. характер залегания — спокойный или нарушенный, сплошной или прерывистый (что так важно для горного дела) — есть функция тектоники и размывов, процессов изменения и уничтожения.

Если отдельные части процесса угленакопления обозначить буквами A, B, C, то угленосность месторождения M может быть представлена в виде формулы:

$$M = f(A,B,C).$$

Процесс угленакопления и его результат — угленосность проявляются на поверхности земного шара неравномерно как во времени, так и

в пространстве. Эпохи мощного угленакопления (максимумы) сменяются их ослаблениями (минимумы). Максимум и минимум этого процесса возникают на новых, сменяющихся площадях земного шара.

Та площадь земной поверхности, в пределах которой в определенный геологический период произошло наиболее обильное накопление угленосных отложений и угольных масс, называется поясом угленакопления.

Линия, оконтуривающая все угольные бассейны определенного пояса угленакопления, называется границею пояса угленакопления.

В пределах поясов выделяются площади, наиболее насыщенные угленосными бассейнами, и площади с меньшим насыщением. Наиболее насыщенные углем площади называются узлами угленакопления.

Площади, окружающие узлы накопления, на которых процесс угленакопления постепенно замирает, называются периферическою зоною угленакопления определенного пояса.

В дальнейшем изложении будут освещены следующие вопросы: 1) стратиграфическое распространение масс угольных запасов на земном шаре; 2) географическое и палеогеографическое распределение этих масс; 3) площади земного шара с преобладающими угленакоплениями, пояса и узлы мирового угленакопления; 4) перемещение узлов угленакопления на земной поверхности.

В заключение будет указано, в какой стадии в настоящее время находится разрабатываемая теория поясов и узлов угленакопления.

СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС УГОЛЬНЫХ ЗАПАСОВ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

В основу стратиграфического анализа масс мировых запасов угля положены цифры подсчетов 1913 г. со всеми теми исправлениями, которые были получены при последующих подсчетах (1936—1938 гг.) [13].

Чтобы цифровой материал был сравнимым, пришлось все имеющиеся цифры, относимые к углям различных свойств: 1) перечислить на весовые массы, соответствующие содержанию углерода в торфе; 2) дать анализ стратиграфического распределения запасов на земном шаре, приняв во внимание абсолютное летоисчисление; 3) пересчитать все имеющиеся запасы в процентном отношении к общему мировому запасу.

Эта длительная и незаметная работа увенчалась успехом. Она дала возможность отделить главные скопления запасов угля на земном шаре от многочисленных мелких месторождений, которые, как угольная пыль, покрывают земной шар и скрывают общую картину угленакопления.

На рис. 1 дается стратиграфическое распределение запасов углей на земном шаре. Приведенный цифровой материал позволяет наметить ряд выводов, касающихся стратиграфического распространения запасов углей, начиная с девонского и кончая четвертичным периодом.

Учтенные мировые запасы углей распределяются неравномерно по различным стратиграфическим подразделениям, именно намечаются три максимума и три минимума.

Максимумы совпадают: 1-й — с верхним карбоном и пермью, 2-й — с юрой и 3-й — с верхами верхнего мела и третичным периодом; минимумы: 1-й—с нижним карбоном; 2-й—с триасом и 3-й—с верхнемеловым периодом.

Наиболее мощное угленакопление на земном шаре соответствует третичному максимуму — 54.4% мирового весового запаса углей, на втором месте стоит верхнекарбоново-пермский максимум — 38.1%, на третьем — юрский — 4%.

Чрезвычайно важные результаты дают подсчеты величин угленакопления на единицу времени (на одно миллионолетие) и на единицу поверхности земного шара (тонн на 1 км²). Абсолютная стратиграфическая хронология еще дает довольно разноречивые цифры относительно продолжительности одних и тех же подразделений. Несмотря на это, общий порядок величин угленакопления в различные периоды жизни земли все же может быть намечен (см. рис. 1). Величины пермского и верхнекарбонового угленакоплений можно считать одинаковыми (пермь — 52.7, средний карбон — 54.5 млрд. т на 1 млн. лет). Угленакопления третичного и четвертичного времени снова близки по своим величинам (третичные отложения 76.2 и четвертичные отложения 69.5 млрд. т на 1 млн. лет) [23, 24, 26, 29].

Особенно важен тот факт, что величина четвертичного торфонакопления превышает торфонакопления карбона и перми и уступает лишь максимуму третичного периода. Если даже принять во внимание, что часть запасов углей в палеозойских бассейнах уничтожена процессами разрушения, то все же можно утверждать, что процессы угленакопления на земном шаре н е з а м и р а ю т до настоящего времени.

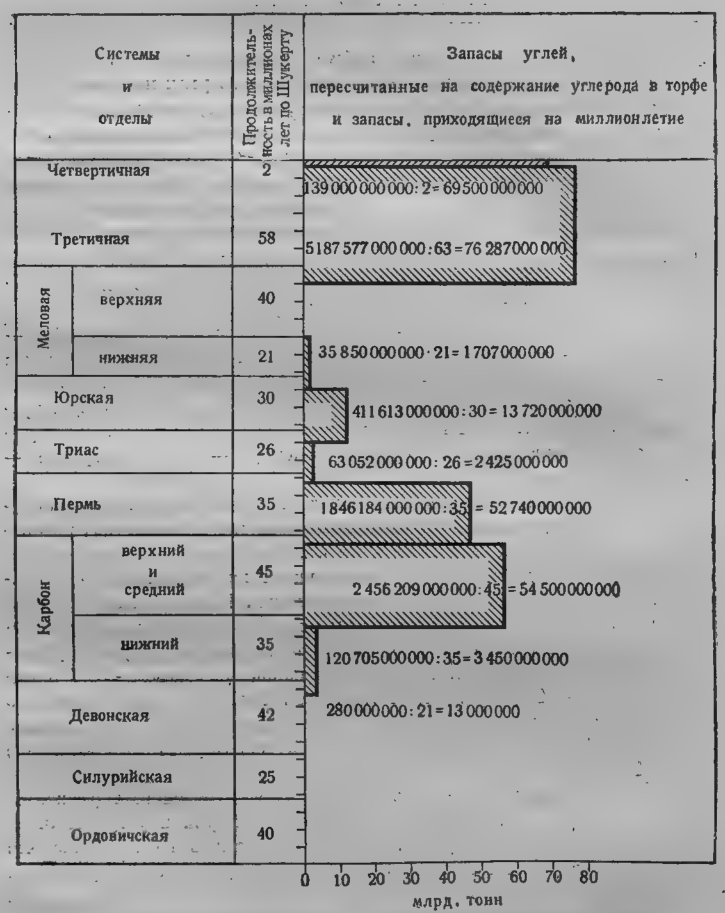


Рис. 1. Стратиграфическое распределение запасов ископаемых углей на земном шаре (по П. И. Степанову)

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС УГОЛЬНЫХ ЗАПАСОВ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

В дальнейшем изложении за начальный момент появления на земном шаре месторождений типичных ископаемых углей принят девонский период. Намюрский ярус включен в нижний отдел карбона. Пермские угленосные отложения принимаются за самостоятельную стратиграфическую единицу.

Девонская система. Первые намеки на появление накопления ископаемых «углей» относятся к нижнему девону (Германия — Эйфель, близ Дауна и Нейкирхена). Для среднего девона известны уже промышленные месторождения барзасского угля (Кузбасс, СССР). Верхнему девону подчинено наиболее значительное девонское месторождение, именно о-ва Медвежьего. Более мелкие скопления углей известны на Земле Эллесмер (Канада) и на восточном склоне Тиманского хребта (СССР).

Запасы девонских углей мало изучены, подсчитанный запас о-ва Медвежьего и Барзаса выражается величиной 0.002% мировых запасов. Все наиболее значительные девонские месторождения угля (Эллесмер, о-в Медвежий, Тиман, Барзас) расположены на одной дугообразной линии. Это направление может быть названо поясом девонского угленакопления. Наибольшее скопление углей в районе о-ва Медвежьего и Барзаса может быть названо узлами девонского угленакопления. Они заключают все учтенные запасы по девону.

Каменноугольная система характеризуется пышным расцветом растительности на земном шаре. Растительные остатки в изобилии известны из обоих полушарий и из всех частей земного шара. Угольные месторождения известны также в обоих полушариях, но с подавляющим преобладанием запасов в северном полушарии. Общий запас углей в карбоне составляет 23.74% мировых запасов. Из них на долю нижнего карбона приходится 1.52% (турне и визе 0.86%, намюр 0.66%), среднего и верхнего карбона — 22.22% (вестфальский ярус 22.07%, стефанский — 0.15%).

Наибольшие массы запасов месторождений турнейского и визейского возрастов сосредоточены в Казахстане (Караганда) — 0.64%. Затем следуют: Подмосковный бассейн (0.078%), Шотландия (0.064%), Урал (0.039%). Указанные месторождения заключают в себе 0.82% из общего

57*

запаса 0.86%. Главная масса запасов намюрского возраста сосредоточена в Верхнесилезском бассейне — 0.64% из общего запаса в 0.66%.

Угленакопление вестфальского яруса — одно из самых мощных на земном шаре. Месторождения этого возраста до настоящего времени дают наибольшую массу добываемого на земле ископаемого угля. Главная масса запасов находится в северном полушарии.

Крупнейшие массы угля (Пенсильванский отдел) сосредоточены в США, в восточных штатах, между 100-м меридианом и побережьем Атлантического океана. Запасы группы внутренних бассейнов — величайшего в мире Аппалачского и других бассейнов этой территории — в общем заключают 13.217%.

На Европейском континенте, на протяжении от Ирландии и Англии на западе и Донбасса на востоке, расположен целый ряд крупнейших угольных бассейнов. В этот ряд входят бассейны Англии и Ирландии (2.386%), Франко-бельгийско-голландская группа (0.389%), группа бассейнов Германии, Чехословакии и Польши (5.334%), из которых на долю Вестфальского (Рур) и Верхнесилезского бассейнов приходится 4.304%. На востоке расположен Донбасс с 1.13%. Общий запас европейских бассейнов вестфальского возраста выражается 9.239%.

Дать характеристику географического распространения и размера запасов стефанского угленакопления более затруднительно, так как вопрос этот не разрешен с требуемой детальностью для бассейнов США. Стефанское угленакопление Европы вполне отчетливо. Наиболее значительные запасы его сосредоточены в месторождениях Центрального плато Франции, в Саарбрюкенском, Нижнесилезском, Донецком и Гераклейском бассейнах. Общий возможный запас этих бассейнов в отношении углей стефанского возраста выражается 0,156%.

Площадь карбонового угленакопления имеет более широкое распространение, чем девонская. В северном полушарии она охватывает восточную и полярные части Северной Америки, острова Шпицберген и Медвежий, Европу, северную часть Африки, значительные площади на западе и в центральной части Азиатского материка.

Замечается вполне определенный сдвиг к югу площадей с вестфалостефанским угленакоплением по отношению к нижнекарбоновому.

Наиболее северное положение занимает пояс турнейско-визейского угленакопления. Он начинается на западе, в штате Вирджиния, Аппалач-

ским бассейном, пересекает Шотландию, Подмосковный бассейн, месторождения Урала, а на востоке оканчивается казахстанскими месторождениями, в том числе Карагандой. В пределах этого пояса вполне отчетливо вырисовывается узел турнейско-визейского угленакопления в районе Караганды.

Намюрское угленакопление имеет ограниченное распространение и приурочено к Западной Европе. Намюрский пояс в широтном направлении протягивается от бассейна Нижней Луары во Франции, через Верхнесилезский бассейн, до Донбасса на востоке. Он сдвинут к югу по отношению к турнейско-визейскому поясу. Узлом служит Верхнесилезский бассейн.

Вестфальский пояс на западе начинается в Северной Америке и проходит через великие бассейны востока США. В Европе он пересекает Англию, Францию, Бельгию, Германию, Польшу, СССР (Донбасс). В состав этого пояса входят два узла: североамериканский и западноевропейский.

Пояс стефанского угленакопления незначителен по размерам своих запасов, сдвинут еще более к югу по отношению к вестфальскому. Он совпадает с широтой 35—45° с. ш., на западе начинается в Испании, проходит через Гераклейский бассейн (Турция) и на востоке оканчивается в Шанси (Китай).

П е р м с к а я   с и с т е м а. Начиная с пермского периода в процессах угленакопления наблюдаются резкие изменения. Они выражаются в том, что прежние площади угленакопления перестают быть центрами массового развития этого процесса; угленакопления переходят в совершенно новые площади земного шара — в другое его полушарие.

Девонско-карбоновое угленакопление развилось и достигло своего расцвета в пределах северного полушария, в его отрезке, ограниченном с запада 100-м меридианом з. д., а на востоке 80-м меридианом в. д.

В пермский период наиболее мощные накопления углей происходят на Азиатском и Австралийском материках, между 80-м меридианом в. д. и побережьем Тихого океана.

Необходимо также отметить тот факт, что, начиная с пермского времени, угленакопление наблюдается и в южном полушарии земного шара — в Австралии, Африке, Южной Америке и, повидимому, на южных приполярных землях.

В пределах Северной Америки и Европы пермское угленакопление приурочивается только к узкой полосе, вытянутой с запада на восток. В эту полосу входят угли, подчиненные отделу Дункард Аппалачского бассейна, пермские бассейны центрального массива Франции, мелкие бассейны Германии, Чехословакии и Югославии, наконец, замирающая угленосность Донбасса. Общий запас рабочих пластов не велик и выражается 0.0026% мировых запасов.

Совершенно другая картина наблюдается в пределах восточной половины Евразии. В СССР — в Печорском крае, Казахстане, Кузбассе, Минусинском бассейне, в пределах обширной Тунгусской угленосной площади — встречаем мощные угольные месторождения. Общий запас этих угленосных площадей еще не учтен точно. По подсчетам, к концу 1936 г. общий запас пермских углей в пределах указанной территории составлял не менее чем 11.45% мировых запасов. Отдельная группа угольных бассейнов расположена в Корее и восточной половине Китая; запасы этих бассейнов слабо изучены. По имеющимся данным, их общий запас оценивается не менее чем в 2% мировых запасов.

Далее следует отметить запасы углей пермского возраста: в Британской Индии (1.019%), Австралии (1.717%), юго-восточном секторе Африки (0.745%) и юго-восточном секторе Южной Америки (0.00006%). Общий запас пермских углей составляет 17% мировых запасов.

Угленакопление пермского возраста приурочено к двум древним материкам: северному и южному. В пределах первого угленосность подчинена так называемой «ангарской» системе, вмещающей комплекс отложений, начиная пермью и кончая нижним мелом. Южный материк носит название гондваны и представляет площадь развития так называемой «гондванской» системы, которая и является угленосной. Гондванская система включает комплекс отложений от перми до юры. Угольные бассейны ангариды относятся к типу платформенных, или переходных.

Месторождения гондваны включают бассейны Австралии, восточной половины Индостана и юго-восточных секторов Африки и Южной Америки. Обращает на себя внимание приуроченность угольных месторождений гондваны именно к восточным половинам перечисленных материков. Эта приуроченность настолько характерна, что заставляет обратить на эти явления особое внимание и анализировать его в связи с гипотезами о передвижении материков.

В пределах главной площади пермского угленакопления можно выделить следующие узлы: тунгусский (5.6% мировых запасов), Кузбасс (5.7%), китайский (2%), индостанский (1%), восточноавстралийский (1.7%). Эти узлы намечают направление пермского пояса угленакопления. Общее простирание этого пояса совершенно другое, чем поясов каменноугольного периода. Обе системы указанных поясов угленакопления образуют друг с другом угол в 50—45°. Простирание карбоновых поясов близко к широтному, пермских направлений — с СЗ на ЮВ.

Триасовая система. Триас беден угольными месторождениями. Их запасы составляют 0.54% мировых запасов, что соответствует половине запасов, например, одного Донбасса.

Незначительное по своим размерам триасовое угленакопление имеет своеобразное площадное развитие. Оно окружает земной шар в виде ясного пояса, пересекающего Северную Америку, Европу, Азию и Австралию.

Юрская система. По имеющимся подсчетам, угольные бассейны юрского возраста заключают 4.03% мировых запасов. Главная масса этих бассейнов находится в Азии. Европа, Северная Америка и Австралия бедны юрскими углями, а Южная Америка и Африка почти совсем их не имеют. Европейские месторождения приурочиваются к средней полосе Западной Европы, вытянутой от Англии по направлению к Крыму и Кавказскому хребту. Общий запас не велик — из числа подсчитанных запасов на европейские месторождения приходится около 0.03%.

В Азии можно наметить три пояса юрского угленакопления: южный, средний и северный.

Южный пояс представляет собой продолжение на юго-востоке крымско-кавказской угленосной полосы. В этот пояс входят месторождения Закаспия, Среднеазиатских республик СССР, Ирана, южной части Казахстана и, вероятно, Афганистана. На юго-востоке пояс заканчивается бассейном южного Китая. Общий запас выражается 0.767%. Пояс этот совпадает с южным краем юрского азиатского континента.

Средний пояс начинается месторождениями восточного склона Урала (Челяба и др.), пересекает северный Казахстан, Кузбасс, Чулымо-Енисейский, Канский и Иркутский бассейны, многочисленные месторождения Забайкалья, Дальнего Востока и Японии. Это полоса крупных платформенных лимнических бассейнов, приуроченных к ангарскому континенту. Общий запас не менее 3.2%.

Северный пояс составляют Ленский бассейн и месторождения северо-востока Сибири. Есть полное основание предполагать, что данный пояс окажется наиболее богатым запасами юрских углей. Вне указанных поясов в северном полушарии расположены месторождения Аляски и тихоокеанского побережья Канады, а в южном полушарии — Аргентины (?), юга Австралии и Новой Гвинеи.

Узлы юрского угленакопления расположены в восточной Азии между 80 и 150° в. д. Намечается существование следующих узлов: ленско-верхоянского, чулымо-канско-иркутского, южнокитайского.

Меловая система. Угленакопление меловой системы изучено еще недостаточно, и это затрудняет подробное стратиграфическое подразделение запасов. Вопрос этот чрезвычайно важен в деле изучения процессов угленакопления на земном шаре. Угли нижнемелового возраста геологически тяготеют к ангарской системе. Угли верхнемелового возраста (система Ларами) составляют неотъемлемую часть великого североамериканского угленакопления третичного возраста. Мировые запасы меловых углей оцениваются в 0.34%, что, конечно, не соответствует истинным их размерам.

Угленакопление арктических стран Азиатского материка распространяется, повидимому, через северный полюс, на полярные острова Канады и в район Аляски. Меловые угленакопления о-ва Шпицберген составляют одно из звеньев угленакопления арктических земель. В настоящее время затруднительно выделить узлы угленакоплений мелового возраста.

Третичная система. Наиболее мощное угленакопление на земном шаре произошло в третичное время; оно составляет 54.44% общих мировых запасов. Третичные месторождения различных стратиграфических подразделений развиты как в северном, так и в южном полушариях. Главная их масса сосредоточена в западной половине Северной Америки, между 100-м меридианом и тихоокеанским побережьем. В месторождениях прерии США и Канады, в платформенных, лимнических бассейнах, сосредоточено 52% мировых угольных запасов. Это узел третичного и верхнемелового возрастов, самый крупный в мире вообще. В пределах Северной Америки запасы Аляски составляют 0.163%. Месторождения Южной Америки (Венецуэла, Колумбия, Чили) содержат 0.388%.

Таким образом, площади американских континентов, тяготеющие, за небольшим исключением, к восточным побережьям Тихого океана, сосредоточивают 52.551% мировых запасов углей. К западным побережьям Тихого океана тяготеют месторождения востока Азии, Австралии и архипелагов Океании. Здесь сосредоточено 0.734% мировых запасов. Оба из указанных поясов в виде непрерывной ленты опоясывают Тихий океан.

В Европе сохраняется самостоятельная площадь третичного угленакопления. Она охватывает центральную и южную части Западной Европы и продолжается на восток в Малую Азию, а быть может, и в северный Индостан. Общий запас этой площади 0.13%.

ПЛОЩАДИ ЗЕМНОГО ШАРА С ПРЕОБЛАДАЮЩИМИ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯМИ, ПОЯСА И УЗЛЫ МИРОВОГО УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ

На основании цифрового материала, полученного из анализа стратиграфического и палеогеографического распределения масс мировых угольных запасов, является возможность выделить на земном шаре площади *с преобладающими угленакоплениями*. Под ними я подразумеваю такие площади земного шара, на которых главная масса угольных запасов приурочивается к одному или двум геологическим возрастам. Угольные месторождения других — не преобладающих — геологических возрастов имеют подчиненное значение к общей массе запасов угля, сосредоточенных в пределах выделенной площади.

На земном шаре можно выделить три площади с преобладанием угленакопления: 1) каменноугольного, 2) пермского и юрского, 3) верхнемелового и третичного.

Площадь с преобладанием *каменноугольного* накопления охватывает восточную часть Северной Америки, Европу, северную часть Африки и западную часть Азии. Основными границами этой площади являются на западе 100-й меридиан з. д., а на востоке дуга между 60-м и 80-м меридианами в. д. Таким образом, выделяемая площадь включает в себя Атлантический океан с прилегающими к нему частями континентов.

Площадь эта характеризуется следующим стратиграфическим распределением угольных запасов (табл. 1):

Таблица 1

Системы	Запасы углей в %		
	к мировым запасам	к общему запасу площади	
Третичная	1.19	4.68	4.68
Меловая	0.05	0.21	1.68
Юрская	0.09	0.36	
Триасовая	0.26	1.04	
Пермская	0.01	0.07	
Каменноугольная верхняя и средняя	22.23	92.03	92.03
нижняя	0.41	1.60	1.61
Девонская	0.002	0.01	
Всего . . .	24.242	100.00	100.00

Из этих цифр отчетливо следует, что на выделенной площади ведущее значение в отношении угольных запасов принадлежит в е р х н е м у и с р е д н е м у к а р б о н у, затем следуют третичные отложения, а все остальные имеют подчиненное значение.

В пределах этой площади вырисовываются следующие пояса и узлы угленакопления: 1) верхнедевонский с узлами в районе о-ва Медвежьего; 2) турнейско-визейский с узлом в районе Караганды; 3) намюрский с узлом в Верхнесилезском бассейне; 4) вестфальско-стефанский с двумя узлами — североамериканским и западноевропейским; узлы пермский, триасовый, юрский и меловой слабо выражены; 5) третичный с среднеевропейским узлом.

Все пояса имеют простирание на восток. Вполне отчетлива тенденция постепенного передвигания процессов угленакопления в направлении от севера к югу с постепенным переходом от более древних стратиграфических подразделений к более молодым. Эта закономерность была уже подмечена М. Тетяевым и С. Бубновым.

Площадь с преобладанием п е р м с к о г о и ю р с к о г о угленакоплений охватывает восточную часть Азии, Австралию, южные и северные полярные земли, южно-восточные секторы Африки и Южной Америки.

В главной своей массе площадь расположена в полушарии, противоположном тому, где развито карбоновое угленакопление.

Пермско-юрская площадь характеризуется следующим стратиграфическим подразделением угольных запасов (табл. 2).

Таблица 2

Системы	Запасы углей в %	
	к мировым запасам	к общему запасу площади
Третичная	0.42	2.01
Меловая	Не учтены	(вероятно, крупные)
Юрская	3.37	16.06
Триасовая	0.29	1.34
Пермская	16.89	80.59
Каменноугольная	Незначительные	
Всего	20.97	100.00

Пермское угленакопление сосредоточивается в сибирских, китайском, индокитайском и австралийском узлах угленакопления. Как уже упоминалось, общее простирание пермского пояса угленакопления приближается к меридиональному. Этим оно резко отличается от направления поясов карбонового возраста. Юрские пояса снова начинают приобретать широтные направления.

Необходимо отметить общую тенденцию сдвижения центров угленакопления в направлении ЗЮЗ, т. е. в сторону, почти противоположную той, которая наблюдается на площади карбонового угленакопления. Если проследить, к каким стратиграфическим подразделениям постепенно переходит преобладание процессов угленакопления на пространстве Урал—о-в Сахалин, то не трудно заметить существование следующей стратиграфической последовательности угленакопления: карбон, пермь, юра, мел, третичный возраст.

Площадь с преобладанием в е р х н е м е л о в о г о и т р е т и ч н о г о угленакоплений охватывает восточные побережья Азии и Австралии,

архипелаги Океании, западные побережья Северной и Южной Америки. Площадь эта в виде непрерывной полосы опоясывает Тихий океан. Главнейший узел угленакопления расположен в США и Канаде между 100-м меридианом и Скалистыми горами.

Угленосность площади характеризуется следующими цифрами (табл. 3).

Таблица 3

Системы	Запасы углей в %	
	к мировым запасам	к общему запасу площади
Третичная	52.87	93.298
Меловая	0.29	0.540
Юрская	0.58	1.080
Триасовая	0.001	0.002
Пермская	Не учтены	(незначительные)
Каменноугольная	0.05	0.080
Всего	53.791	100.000

Общее расположение узлов накопления ангарской системы и направление пояса этого угленакопления показывают на возможность существования крупных масс углей в полярных площадях севера Азии. Возрасты этих запасов можно предполагать юрским, нижне- и верхнемеловым. Аналогичное угленакопление должно существовать и на полярных островах Канады. Следует думать, что открытие новых угольных запасов на указанной части земного шара вызовет резкое увеличение запасов углей юрского и мелового возрастов.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УЗЛОВ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ ПО ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При рассмотрении распространения угольных месторождений на поверхности земного шара вырисовывается локализация главной массы угольных запасов в небольшом числе узлов угленакопления. Из всех мировых запасов угля 91.8% сосредоточено в семи узлах. Из них в верхнем

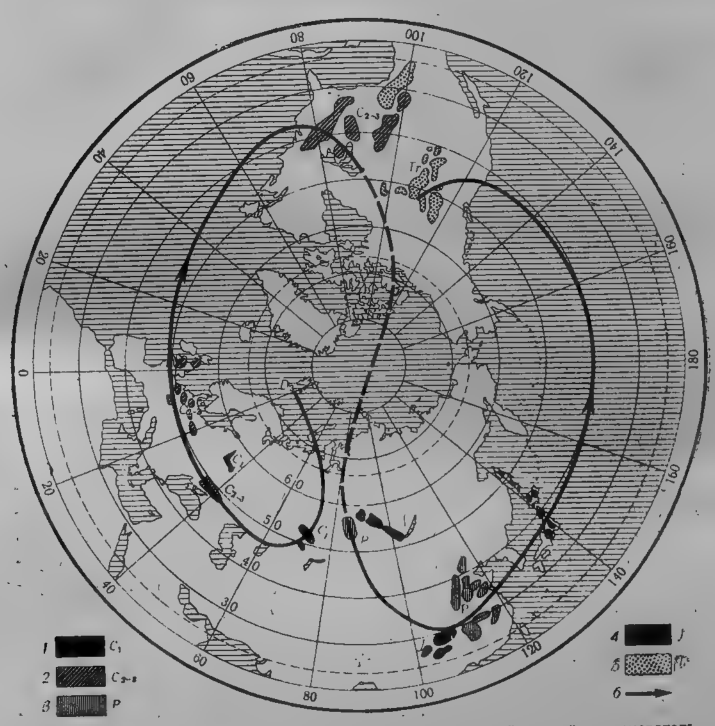


Рис. 2. Перемещение узлов угленакопления в их стратиграфической последовательности в пределах северного полушария (по П. И. Степанову):

1 — нижний карбон; 2 — средний и верхний карбоны; 3 — пермский; 4 — юрский; 5 — третичный; 6 — направление перемещения узлов

карбоне два узла: североамериканский (13%) и европейский (9%), в перми — три: сибирский (11.7%), китайский (2%) и австралийский (1.7%),

для юры — сибирский (2.47%), для верхнего мела и третичных отложений — западный североамериканский (52%) (см. рис. 2).

Если все эти узлы нанести на земной шар и соединить друг с другом в порядке стратиграфической последовательности, то вырисуются два отдельных отрезка кривых линий. Первый отрезок приурочивается к площади с преобладанием карбонового угленакопления и соединяет о-в Медвежий (D_3), Караганду (C_1), европейский (C_{2-3}) и американский узлы (C_{2-3}). Стратиграфическое возрастание этой линии в главных чертах совпадает с направлением движения земного шара.

Второй отрезок кривой располагается в пределах площадей с преобладанием пермско-юрского и третичного угленакоплений. Эта кривая соединяет пермские, юрские и третичные узлы угленакоплений. Стратиграфическое возрастание этого отрезка имеет направление, противоположное движению земного шара. Оба отрезка расположены в противоположных полушариях, разделенных друг от друга 100—80-м меридианами. Это дает право высказать мысль, нельзя ли оба отрезка объединить в одну кривую, путем соединения через полюс североамериканского карбонового узла с сибирским пермским. В данном случае стратиграфическая последовательность передвижения не нарушается.

Полученная спиральная кривая и характеризует процесс возникновения на земном шаре главнейших узлов угленакопления за период времени от верхнего девона до третичного времени, тот процесс, который сосредоточил более 90% мировых запасов углей. Эта кривая иллюстрирует существо процесса перемещения узлов угленакопления по поверхности земного шара в пределах северного полушария.



Учение о поясах и узлах угленакоплений может дать некоторые руководящие идеи для поисков новых угольных месторождений.

I. Для площади с преобладающим угленакоплением карбонового возраста могут быть намечены следующие задачи:

1. Поиски промышленных месторождений углей девонского возраста на северо-востоке Европейской части СССР, так как не исключена возможность существования у нас месторождений, аналогичных имеющимся на о-ве Медвежьем.

2. Поиски угольных месторождений нижнекарбонового возраста: а) по линии Боровичи — месторождения Северного Урала и в ЮЗ направлении через Селижарово до южного крыла Подмосковного бассейна; б) между Подмосковным бассейном и Донбассом (проблема Большого Донбасса); в) вдоль западного склона Урала—выяснение глубин залегания угленосных площадей; г) к северу от известных казахских месторождений — поиски благоприятных геологических структур (горстов).

3. Выявление для углей средне- и верхнекарбонового возрастов основных геологических структур между Донбассом и углями северного склона Кавказа, а равно в пределах южной украинской депрессии (проблема Большого Донбасса).

4. Детализация в отношении углей мезозойских и третичных — уже известных месторождений и поиски новых.

II. Для площади с преобладанием пермского и юрского угленакоплений выдвигаются такие задачи:

1. В отношении пермских угленосных бассейнов: а) поиски благоприятных структур на протяжении Печорский край — Урал — Кузбасс; б) изучение направления к северу от Кузбасса; в) детализация тунгусской угленосной площади, в особенности в западной и северной ее частях.

2. Детализация известных юрских месторождений и поиски новых, в особенности для ДВК.

3. Сосредоточение внимания на изучении угольных месторождений нижнемелового возраста как в пределах ДВК, так и в арктических районах.

III. Для площади с преобладанием третичного угленакопления в отношении территории СССР задача заключается в поисках новых месторождений в пределах УССР, на Южном Урале, в Казахстане и ДВК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учение о поясах и узлах угленакопления, предложенное в данной статье, было мною названо «теориею поясов и узлов угленакоплений». Это не вполне правильно. Вернее было бы назвать это учение первым этапом научных работ, именно «гипотезою о поясах и узлах угленакоплений». В. И. Вернадский в личных беседах о поясах и узлах угленосности

рекомендовал называть это учение, в существующей стадии его разработки, «эмпирическими закономерностями в процессе угленакопления». В. И. Вернадский был вполне прав. До тех пор, пока не будет произведен всесторонний научный анализ тех причин, которые обусловили возникновение поясов и узлов, работа моя не будет считаться законченной.

Надеюсь довести эту работу до конца, а если это мне не удастся, то ее закончат другие — мои ученики и товарищи по работе. Но цифровой материал останется, пояса и узлы угленакоплений существовали и сохранились на земном шаре, и по ним будут найдены новые угольные месторождения, столь нужные нашей родине.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. Вегенер.* Возникновение материков и океанов. Перев. с 3-го, перераб. изд. под ред. Г. Ф. Мирчинк. М.— Л., Гос. изд-во, 1925.
2. *М. Д. Залесский.* Палеозойская флора ангарской серии. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 174, 1918.
3. *М. Д. Залесский.* Пермская флора уральских пределов Ангариды. Тр. Геол. к-та, нов. серия, вып. 176, 1927.
4. *А. Н. Криштофович.* Геологический обзор стран Дальнего Востока. Л. —М., Центр. научно-исслед. геол.-разв. ин-т, 1932.
5. *А. Н. Криштофович.* Ангарская свита. Байкальский отдел. Тр. Всес. геол.-разв. объедин., вып. 326, 1933.
6. *А. Н. Криштофович.* Ботанико-географическая и климатическая зональность в конце палеозойской эры. Природа, 1937, № 2.
7. *А. Н. Криштофович.* Палеоботаника. 3-е, доп. изд. М.— Л., Гос. изд-во геол. лит. К-та по дел. геол., 1941.
8. *Б. Л. Личков.* Движение материков и климаты прошлого земли. Л., Изд-во АН СССР, 1935.
9. *П. И. Степанов.* Некоторые закономерности стратиграфического распределения геологических запасов ископаемых углей на земном шаре. Межд. геол. конгр. Тр. XXII сессии. СССР. 1937, т. I, стр. 279.
10. *П. И. Степанов.* Очередные задачи науки в области изучения и использования месторождений ископаемых углей СССР. Изв. АН СССР, серия геол., 1939, № 4.
11. *П. И. Степанов* и *С. И. Миронов.* Геология месторождений каустобиолитов. Л.— М., ОНТИ, 1937.
12. *А. Ч. Сьюорд.* Века и растения. Обзор растительности прошлых геологических периодов. Перевод с английского под ред. Криштофовича. Л.— М., ОНТИ, 1936.
13. Угли местного значения. Сборник статей под ред. М. М. Пригоровского. Гос. н.-техн. изд-во нефт. и топл. лит., М.— Л., 1940.

14. *S. Bubnoff.* Die Kohlenlagerstätten Russlands und Sibirien und ihre Bedeutung für die Weltwirtschaft. Berlin, 1923.
15. *S. Bubnoff.* Deutschlands Steinkohlenfelder. Stuttgart, 1926.
16. *S. Bubnoff.* Geologie von Europa. Zweiter Band. Das Ausseralpine Westeuropa. 1 Teil. Kaledoniden und Varisciden. Berlin, 1930.
17. *F. Frech.* Deutschlands Steinkohlenfelder und Steinkohlenvorräte. Stuttgart, 1912.
18. *W. Gothan.* Die Pflanzengeographische Verhältnisse am Ende des Paläozoikums. Botanische Jahrbücher für Syst. Pflanzengesch. und Pflanzengeogr., hrsg. von Engler, Bd. 63, H. 4, 1930.
19. *W. Gothan.* Geobotanische Provinzen in Karbon und Perm. Intern. Botan. Kongr , Bd. II.
20. *W. Köppen* und *A. Wegener.* Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, 1924.
21. *Kreichgauer.* Die Äquatorfrage in der Geologie. 2 Aufl., 1925.
22. *Potonié.* Lehrbuch der Paläobotanik. 2. Bearb. von W. Gothan. Berlin, 1921;
23. *G. A. Reads.* How old is earth? Nat. History, vol. 31, 1931, № 2.
24. *C. Schuchert.* Geochronology of the age of the earth on the basis of sediments and life. Bull. Nat. Res. Council., № 80. Waschington, 1931.
25. *H. Simroth.* Die Pendulationstheorie. Leipzig, 1907.
26. *R. Staub.* Der Bewegungsmechanismus der Erde, dargelegt am Bau der irdischen Gebirgssysteme. Berlin. 1928.
27. *P. Stille.* Kohlenbilding als Tektonisches Problem. Braunkohle, 1926, № 42.
28. *H. Stille.* Der Bau Mitteleuropas mit besonderer Berücksichtigung des rheinisch-westfalischen Kohlengebietes. Gluckauf, 1926, № 52.
29. *H. Stille.* The present tectonic state of the earth. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 20, 1936, № 70.
30. *M. Tetiaeff.* Les grandes lignes de la géologie et de la tectonique des terrains primaires de la Russie d'Europe. Ann. Soc. Géol. de Belgique, v. XXXIX, 1912.
31. The Coal Resources of the World. Vol. I, II, III. Toronto, Canada, 1913.
32. *R. Zeiller.* Eléments de Paléobotanique. Paris, 1900.

Академик
Б. Б. Полынов

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ УЧЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ В СОВРЕМЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Одним из замечательных достижений русской науки конца XIX столетия было создание новой, совершенно оригинальной отрасли естествознания. Оригинальность ее заключалась прежде всего в том, что объекты ее изучения не могли найти места в каком-либо из разделов науки о природе. Расчленение так называемого «описательного» естествознания на зоологию, ботанику и минералогию издавна получило свое отражение в широко распространенном понятии о трех обособленных «царствах природы». Это понятие внедрялось со школьной скамьи и служило основным, начальным положением того элементарного, книжного «познания природы», которое считалось обязательным для каждого мало-мальски образованного человека. Оно, однако, невольно оставляло свои следы и в мировоззрении подавляющего большинства ученых-натуралистов конца XIX века. В этих условиях В. В. Докучаев и его ученики сосредоточивают свое внимание на особой категории природных образований, которые, *являясь и продуктом и вместилищем непрерывных взаимодействий между живой и мертвой природой* (иначе говоря — между организмами и горными породами), *имеют законченные формы и обладают особыми закономерностями своего состава и свойств.* Очевидно, что эти образования не находят себе места ни

в одном из «царств природы», и создание науки о них является не чем иным, как проникновением научной мысли в мир природных явлений, дотоле не предусмотренных существовавшими отраслями естествознания. Но хорошо известно, что чем оригинальнее новые идеи, тем дольше приходится вести борьбу за их признание и тем труднее эта борьба.

В данном случае положение осложнилось еще тем обстоятельством, что новая наука получила старое название почвоведения (Bodenkunde), которое, вообще говоря, имело различное толкование, но к концу XIX века укрепилось в Западной Европе и особенно в Германии за определенной областью агрономии. Здесь не место разъяснять то различие между докучаевским (генетическим) и агрономическим почвоведением, которое обнаруживается не только в методах исследования и объемах задач, но и в самих объектах исследования. Здесь достаточно отметить, что и до настоящего времени ни в преподавании, ни в работе научно-исследовательских учреждений мы не сумели еще достаточно четко разграничить эти родственные, но все же различные дисциплины и тем самым обеспечить более успешное развитие каждой из них. Но как бы то ни было, жизненность идей В. В. Докучаева в конце концов оказалась сильнее навыков и тенденций, а широкое и глубокое развитие их явно и далеко выходит за пределы их приложения только к вопросам земледелия.



Самым основным вопросом созданной В. В. Докучаевым науки является образование и развитие природных почв. Постараемся осветить современное состояние этого вопроса и прежде всего расчленим его на две части: 1) взаимодействие между организмами и горными породами и 2) изменение процессов этого взаимодействия под влиянием изменения в пространстве и времени климатических (точнее — гидротермических) условий.

Не вдаваясь в подробное изложение истории развития первой (общей) части этого вопроса, мы можем отметить в ней три основных момента:

1. Влияние организмов на горные породы. Оно трактуется как ряд таких разрозненных процессов разрушения и изменения существующих и образования новых горных пород, в которых главными деятелями являются представители животного и растительного мира. Сюда относится все то, что в геологической литературе описывалось как органическое выветривание, с одной стороны, и образование органогенных пород — с другой.

58*

2. Выяснение почвообразующей совокупности этих процессов и их отражения на свойствах почвы в учении Докучаева.

3. Новое понятие о «живом веществе» и выяснение его геологической роли в работах непосредственного ученика В. В. Докучаева — В. И. Вернадского.

Постараемся подвести самые общие итоги развития идей этого порядка от В. В. Докучаева до В. И. Вернадского включительно.

Вся совокупность живых организмов («живое вещество») составляет лишь ничтожную часть массы земной коры (не более $n \times 10^{-10}$ %). Однако область распространения их — биосфера — охватывает обширное пространство, в которое входят: вся гидросфера, нижние слои атмосферы и верхние — литосферы. Верхняя граница распространения организмов в атмосфере и нижняя в литосфере не выяснены. Можно сказать, что чем больше мы узнаем фактов распространения организмов, тем шире оказываются границы биосферы. В настоящее время присутствие органической жизни установлено в нефтяных водах на глубине 800 м от поверхности суши. Всюду и везде, где бы ни существовали живые организмы, они принимают активное участие в круговороте материи в земной коре. Эта работа организмов выражается в захвате ими тех или иных соединений и элементов окружающей среды и возвращении их в атмосферу, гидросферу и литосферу. В настоящее время прямыми анализами доказано участие в биологическом цикле Вернадского не менее чем 60 элементов.[1] Есть, однако, основание полагать, что в большей или меньшей степени он охватывает все земные элементы. Для правильной оценки этой работы организмов необходимо принять во внимание, что количество захватываемых ими и возвращаемых в каждый отдельный момент элементов никогда не бывает пропорциональным содержанию их в среде жизни организмов. Отсюда ясна грандиозная роль живого вещества в изменении состояния земной коры, и прежде всего всей биосферы. Эта роль до сих пор еще не получила надлежащей оценки, чему больше всего мешает привычка судить о значении вещества по количеству его массы. В данном же случае она проявляется

[1] По словам В. И. Вернадского, на этот биологический цикл обратил свое внимание еще Кювье, определявший организмы как вихри, постоянно выбирающие из окружающей среды элементы и возвращающие их. Но освещение геологической роли этих вихрей впервые сделано, как известно, Вернадским.

в эффектах грандиозной работы, которую совершает ничтожная масса. Постараемся разъяснить это на примере. Представим себе, что в некотором определенном направлении происходит последовательное и непрерывное движение тел трех категорий: *A*, *B* и *C*. Допустим, что эти три категории представлены равными количествами тел, последовательность движения которых показана в следующей части всего ряда тел:

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

→ *ABC ABC ABC ABC ABC ABC ABC ABC ABC ABC* →

Допустим далее, что на пути их движения имеется некоторый пропускной пункт (*mn*) весьма малых размеров, позволяющих ему в каждый отдельный момент пропускать только одно тело. Кроме этого, наш пропускной пункт обладает свойством несколько задерживать тела категории *A* и пропускать их не в третью, а только в пятую очередь. По истечении некоторого времени — после пропускания первых восьми троек — наш ряд примет следующую форму:

10 9 8 7 6 5 *m* 4 3 2 1

→ *ABC AB A A A A* | *n* *CABCBC ABCBC ABCBC ABCBC* →

Очевидно, что с продолжением движения накопление тел *A* перед пропускным пунктом будет увеличиваться. Если в дальнейшем движении тела встретят другой пропускной пункт, задерживающий в такой же степени тела *B*, то перед ним будет возрастать скопление этих последних, но полного расчленения всех трех категорий тел никогда не будет, поскольку тела каждой из трех категорий все же в ту или иную очередь будут проходить через оба пропускных пункта. И в непрекращающейся миграции элементов земной коры организмы — каждый в отдельности и все живое вещество в целом — играют роль именно таких пропускных пунктов. Отсюда становится очевидным их прямое влияние как на изменение состава материала, из которого они захватывают элементы, так и на формирование материала из элементов, выделяемых ими. Чтобы составить представление об энергии этого процесса, достаточно вспомнить, что количество углерода, выделяемого организмами в форме углекислоты в течение 12 лет, в десять раз превышает все его количество, находящееся в земной коре. Иначе говоря, если бы все формы углерода земной коры обладали

одинаковой скоростью миграции в его круговороте, то на протяжении 12 лет он весь десять раз прошел бы через состояние живого вещества. В действительности концентрации углерода в форме известняков, торфов, битумов, каменного угля, графита и алмаза в различной степени замедляют этот оборот для значительной части углерода, так как все эти образования являются не чем иным, как накоплениями углерода перед пропускными пунктами различного характера и в наибольшем числе такими, которые создаются живым веществом.

Среди многообразных следствий этой гигантской работы организмов, протекавшей в течение многих миллионов не только лет, но и веков, мы укажем на следующие, особенно важные в поставленном нами вопросе:

1. Состав современной атмосферы и, в частности, присутствие в ней свободного кислорода, обязанного своим происхождением деятельности автотрофных организмов.

2. Количество свободной углекислоты, содержащейся в воздухе, в воде гидросферы и в природных растворах вадозного происхождения.

3. Распределение в биосфере свободных и связанных в легкообратимых соединениях кислорода и углекислоты.

Не трудно притти к заключению, что эти три следствия в наибольшей степени определяют условия природных кислородных окислительно-восстановительных процессов (изменение величины rH) и концентрации водородных ионов в природных растворах (величины pH); иначе говоря, организмами создавались и ныне создаются основные условия процессов, свойственных биосфере, т. е. процессов выветривания (гипергенеза).

Хорошо известно, что в обширном пространстве биосферы распределение количества и плотности живого вещества далеко неравномерно. В области суши наибольшая концентрация живого вещества имеет место на поверхности суши и в небольшой пленке, одевающей эту поверхность. По мере продвижения вверх — в атмосферу — и углубления в литосферу плотность жизни быстро понижается. В области мирового океана имеются две пленки наибольшей концентрации жизни: одна на дне океана и другая, обладающая значительно меньшей величиной этой плотности, — в верхних слоях воды океана. Мы видим, таким образом, что наивысшая степень концентрации жизни связана с податмосферными (сухопутными) и подводными почвами. Именно здесь, в почвах, наиболее сосредоточена геологическая работа

живого вещества; именно в почвах готовится тот материал континентальных и морских отложений, из которого в дальнейшем образуются новые породы. Но в то же время в почвах в наибольшей степени сосредоточены и те процессы, совокупность которых обусловливает эволюцию органического мира. Здесь разыгрываются многообразные формы борьбы за существование и приспособления организмов к изменяющимся условиям их жизни, создаются многообразные сообщества (биоценозы) и формируются новые виды многочисленных низших организмов и высших растений. Этим определяется значение в естествознании и новой области явлений — почвенной пленки и новой посвященной ей науки — почвоведения.

Перейдем теперь ко второй части поставленного вопроса.

При всем разнообразии форм земной поверхности с известной точки зрения можно различать лишь три типа этих форм, определяющих и три основных варианта образования почв.

Представим себе такой элемент поверхности сглаженного водораздела, который имеет горизонтальное положение или приближается к нему. Поскольку этот элемент на некотором пространстве господствует, он не может получать со стороны материал жидкого и твердого стока, но сам, наоборот, будет в большей или меньшей степени подвергаться размыванию водой атмосферных осадков и отдавать свой материал соседним склонам и понижениям. Приток воды и растворенных в ней веществ может поступать на этот элемент поверхности только сверху, с атмосферными осадками, и снизу — в результате капиллярного и пленочного поднятия воды из подземных (грунтовых) ее источников. Допустим, что в рассматриваемом случае ни капиллярная, ни пленочная вода не достигает поверхности. Это может быть или при глубоком залегании грунтовых вод, или в результате слабой водоподъемной способности горных пород. Описанные условия создают *элювиальные формы выветривания и почвообразования*.

Наоборот, если такой же элемент поверхности отмечается неуклонным притоком восходящих растворов из грунтовой воды и если восходящие токи преобладают над нисходящими — промывающими, то мы имеем формы *супераквального* (надводного) *почвообразования*.

И, наконец (третий вариант), *субаквальное* (подводное) *почвообразование* связано с поверхностью дна водоемов как морских,

так и континентальных. Не трудно видеть, что все многообразие реальных случаев образования почв сводится либо к этим трем основным вариантам, либо к переходным от одного из них к другому.

Остановимся на элювиальном почвообразовании и рассмотрим сначала внешние формы его проявления на первичных (магматических) кристаллических породах, иначе говоря — формы ортоэлювиального почвообразования. Представим себе выходы массивно-кристаллических пород в области умеренного пояса Евразии или Северной Америки. Они обнаруживаются в форме скал, расчлененных трещинами на крупные глыбы, обломки и щебень. На поверхности этих глыб и обломков мы почти неуклонно наблюдаем различные виды литофильной растительности. Самый распространенный случай представляют так называемые накипные лишайники, которые серыми, серо-зелеными, желтыми, а иногда и красными пятнами покрывают камни и представляют шероховатые бородавчатые пленки, настолько прочно укрепившиеся на поверхности камня, что отделить их можно только соскабливанием вместе с материалом самого камня. Кроме таких накипных, появляются еще пластинчатые лишайники, простирающиеся над поверхностью камня и прикрепленные к ней лишь в некоторой части своей пластинки. Местами же камни одеты куртинками мхов, а в некоторых случаях и сплошным моховым покровом. Под пластинчатыми лишайниками и мхами можно наблюдать тонкий слой (не более 1—2 мм) темной рыхлой землистой массы, в которой простым глазом, а еще лучше под лупой, можно различить остатки от разложившихся лишайников и мхов, темную аморфную массу и крупинки, отделившиеся от породы в виде отдельных минералов или осколков породы. Если описанные образования нельзя назвать почвой в строгом смысле этого слова, то они, несомненно, представляют ее зародыш, т. е. одну из самых первых стадий формирования почвенной массы.

Развивающийся под лишайниками и мхами темный землистый материал, смываясь водой атмосферных осадков, заполняет трещины между глыбами и обломками и покрывает щебень, скопившийся у подножья скал, а на его поверхности появляются уже заросли высшей растительности. В одних случаях это будет только травянистая растительность (горные луга, щебнистые степи), в других же вместе с травами появляются и всходы древесной растительности. Это стадия первичной орто-

элювиальной почвы, профиль которой слагается из двух членов: верхнего слоя, лежащего непосредственно под живым растительным покровом и состоящего из темной мелкозернистой массы с отдельными обломками щебня коренной породы, и нижнего, в котором преобладает щебень, а землистая масса заполняет лишь промежутки между его отдельностями. Этот профиль обычно не превышает 0.75—1.0 м,— ниже идет коренная порода. Первичные почвы сохраняют свой общий облик в различных широтах и на различных высотах. Изменения наблюдаются лишь в зависимости от характера горной породы и состава растительности. Местами они обнаруживают более темную, местами более светлую окраску верхнего землистого слоя (горизонта), и самый горизонт обладает различной мощностью. Что же касается дальнейших изменений этого облика по мере развития почв, то они достаточно разнообразны в различных климатических условиях.

Объем настоящей статьи не позволяет останавливаться на описании многочисленных вариантов профилей ортоэлювиальных почв, и мы ограничимся указанием лишь на две особенно типичные формы. Первая обнаруживает себя появлением нового горизонта обизвесткованного щебня. Так, в горных степях Армении на базальтовых лавах развиваются своеобразные, так называемые «вулканические черноземы».[1] Под степной растительностью их находится слой в 40—50 см зернистого темного мелкозема со щебнем базальта, а под ним — слой щебня, в котором каждая отдельность несет с нижней стороны белую корку углекислой извести. Мощность этого слоя — от 10 до 20 см. Под ним залегают обычный щебень и сплошная базальтовая лава. Такие ортоэлювиальные почвы с обизвесткованным щебнем характерны для горных степей Забайкалья, Северной Монголии, Южного Приднепровья и других щебнистых степей и развиваются они на самых разнообразных массивно-кристаллических породах: гранитах, кварцпорфирах, гранитогнейсах и пр. Но в более влажных областях распространения хвойно-лиственных лесов мы их никогда не наблюдаем. Там профили ортоэлювиальных почв, развивающихся непосредственно из первичных, имеют иные облики. Среди этих почв особенно часто встречаются такие, у которых в мелкоземистом горизонте, непосредственно под слоем лесной подстилки, т. е. опавших и частично

[1] Термин принадлежит Ф. Ю. Левинсону-Лессингу, впервые описавшему эти почвы.

разложившихся листьев и хвои, появляется белесая прослойка, по окраске своей напоминающая золу. Эта так называемая «подзолистая» прослойка, в одних профилях еле заметная, в других достигает 10 см и более и представляет, таким образом, новый горизонт почвы. Такие почвы можно наблюдать под некоторыми хвойно-лиственными лесами Кавказа, на гранитах и иных массивных породах Финляндии, Северного Урала и других областей горной тайги. Этот подзолистый горизонт не только не содержит углекислого кальция, но дает кислую реакцию (pH суспензии обычно < 5) и в химическом составе своем обнаруживает сильное по сравнению с материнской породой накопление кремнезема. Во всех описанных случаях профили первичных почв и непосредственно образовавшихся из них совпадают с профилями коры выветривания, т. е. одно и то же поверхностное образование является одновременно и почвой и корой выветривания.

Но если почвообразование имеет место на обширной, сглаженной и слабо расчлененной поверхности массивов коренных пород (пенеплен) и длится в течение геологических эпох и периодов, т. е. миллионы лет, то в этих случаях развиваются формы коры выветривания глубоких профилей, мощность которых измеряется десятками метров. Почвы в этих случаях составляют лишь верхнюю часть коры выветривания. Именно такой древней корой выветривания являются образовавшиеся из первичных пород и залегающие на них первичные каолины (граниты и гранитогнейсы Урала, Украины и других мест), красноземы (на порфиритах Аджарии) и латериты влажных тропических стран (Мадагаскар, Индия и пр.).[1]

Таковы внешние проявления ортоэлювиального почвообразования и производной от него коры выветривания. Постараемся теперь разобраться в сущности процессов, создающих все эти формы, и начнем с тех эмбриональных стадий их, которые осуществляются литофильной растительностью на выходах первичных горных пород. Предварительно необходимо отметить, что описанные нами лишайники не являются в буквальном смысле первыми поселенцами на обнажениях коренных кристал-

---

[1] В последнее время И. И. Гинзбургом описаны и изучены своеобразные формы коры выветривания глубокого профиля на ультраосновных породах (см. Труды ИГН АН СССР, 1946, № 1).

лических пород. Мы имеем все основания утверждать, что им предшествует работа микроорганизмов, которые, как это давно выяснено, поселяются на таких обнажениях даже в тех условиях, при которых никаких признаков жизни, видимых простым глазом, не наблюдается.

Микроскопическое исследование литофильных лишайников обнаруживает, во-первых, их способность к механическому разрушению твердой породы путем откалывания от нее мелких кусочков, которые окутываются гифами лишайников, а во-вторых — избирательную способность лишайников по отношению к минералам (фиг. 1 и 2).



Фиг. 1. Микрофотография препарата (шлифа), приготовленного из поверхностной части породы (гранитогнейса), заселенной накипными лишайниками:

a — полевой шпат и его обломки; *b* — темная масса, представляющая сплетение гифов лишайника. Среди этой массы видны многочисленные обломки, отколотые от породы лишайниками. Увел. 360.

Проникая по трещинам, гифы лишайников обходят одни минералы (кварц) и устремляются к другим (слюды, авгиты), которые они обволакивают и подвергают не только механическому, но и химическому разрушению. Главными деятелями химического разрушения являются свойственные лишайникам специфические органические кислоты. Разрушение минералов сопровождается поглощением из них минеральных элементов.

Постараемся выяснить состав поглощаемых литофильной растительностью элементов и их дальнейшую судьбу, с одной стороны, и состав и свойства того материала, который остается в минералах после поглощения из них элементов, — с другой.

Первый вопрос впервые был поставлен автором и его сотрудниками. Исследования выяснили, что минеральные (зольные) элементы по абсолютному содержанию их в литофильной растительности делятся на две группы. В первую входят Si, K и Ca, которые показывают высокое содержание в золе, обычно выраженное двузначными цифрами процентного содержания их окислов. Вторую группу составляют Mg, Na, Mn, Fe, Al, Ti; содержание каждого из них, выраженное в окислах, редко превышает 5% от всей золы. Сера и фосфор, определяемые в форме SO_3 и P_2O_5, занимают промежуточное положение, отклоняясь то в ту, то в другую сторону. Если же располагать элементы по интенсивности их поглощения лишайниками, т. е. по отношению поглощенного количества элемента ко всему содержанию его в породе, то получим следующий ряд:



Фиг. 2. Микрофотография препарата (шлифа), приготовленного из поверхностной части породы (слюдистого сланца), покрытой накипными лишайниками:

a — кристалл слюды, рассеченный гифами лишайника (черные пятна и нити), *b* — кварц. Увел. 360 (препарат Е. А. Яриловой)

P, S, Ca | K, Na, Mg, Mn || Fe, SiO_2 | Ti, Al.

Мы видим, что в этом ряду элементы расчленяются прежде всего на две группы: сильно и слабо поглощаемых. В первой группе, в свою очередь, выделяются наиболее энергично поглощаемые P, S и Ca, а во второй — особенно инертные, наименее поглощаемые Ti и Al. Положение каждого элемента в таком ряду определяется тремя условиями: 1) величиной

общего содержания его в породе (очевидно, что при прочих равных условиях чем выше содержание элемента в породе, тем меньше относительная величина поглощаемой части его); 2) формой его соединения; 3) степенью избирательной способности организма по отношению к нему. Наш ряд выведен для пород гранитного типа и близких к ним, т. е. для пород, преобладающих среди массивно-кристаллических и характеризующихся определенными формами соединений наиболее распространенных элементов. Место, занимаемое в этом ряду фосфором, объясняется, с одной стороны, его небольшим содержанием в породе, с другой же — высокой по отношению к нему избирательной способностью лишайника, которая позволяет ему энергично поглощать фосфор даже из достаточно прочного соединения его — минерала апатита. Наоборот, высокое содержание в породе алюминия, прочность его соединений в алюмосиликатах и слабая по отношению к нему избирательная способность — все это вместе отодвигает алюминий на последнее место в ряде биологического поглощения лишайниками. Так же вполне закономерны и места других элементов.

Мы видим, таким образом, что интенсивность поглощения минеральных элементов организмами, в частности литофильными лишайниками, *не является прямым отражением только способности их соединений переходить в раствор.* А потому и опыты с так называемым «искусственным выветриванием» минералов и горных пород, при которых они подвергаются действию воды или растворов, *не дают и не могут дать представления о характере истинного, природного процесса выветривания, который всегда протекает при участии организмов.*

Элементы, поглощенные организмами, претерпевают различную судьбу. Некоторые целиком или частично входят в состав органических соединений живой ткани и клеток (например, S и P — в состав белков плазмы и клеточного ядра или Mg — в состав хлорофилла). Другие образуют самостоятельные соединения, пропитывающие клеточную оболочку или образующие внутри клеток микрокристаллы или различной формы тельца (цистолиты), как это особенно характерно для SiO_2 и кальция в форме его солей угольной, щавелевой и серной кислот. Наконец, третьи опять-таки частично или целиком остаются в растворе клеточного сока и могут

выделяться растениями при жизни их (хлориты, сульфаты и карбонаты Na, Mg и Ca). Все эти образования в конце концов попадают в почву. При условии элювиального почвообразования растворимые формы этих соединений частью снова попадают в организмы, а частью выносятся из сферы почвообразования в ручьи и реки поверхностными и грунтовыми водами. Возвращаясь к эмбриональной стадии почвообразования, мы устанавливаем следующий порядок выноса элементов из материала отмирающих лишайников. Наиболее энергично выносятся щелочные элементы, и натрий всегда энергичнее. чем калий, а после них в первые стадии разложения лишайников вымываются соединения фосфора и серы; в дальнейшем их вынос замедляется, и они уступают в этом отношении кальцию. Кальций выносится энергичнее, чем магний. Еще более, чем магний, задерживаются железо и кремнезем, и наиболее стойки соединения алюминия (и титана?).

Мы видим, таким образом, что поглощенные литофильными лишайниками минеральные элементы дают, в конце концов, почвенные соединения различной прочности и устойчивости. В настоящее время мы еще не располагаем такими знаниями, которые позволили бы нам с достоверностью выяснить все формы этих соединений. С большей или меньшей уверенностью мы можем установить лишь следующие положения:

1. Лишайники, точнее — грибы, входящие в этот симбиоз[1], отмечены высоким содержанием белков. Значительная часть белковых соединений в процессе минерализации подвергается быстрому разложению, которое сопровождается переходом серы и фосфора в более подвижные формы соединения, уносимые в природных растворах.

2. Некоторое количество поглощенного литофильной растительностью кальция поступает в почву после отмирания растительности в форме карбонатов и щавелевокислых солей. Часть этих образований сохраняет форму и облик, полученные еще во время пребывания в клетках растений, часть же их выпадает из раствора в процессе минерализации. В то же время значительное количество кальция выносится природными растворами.

3. Кремнезем более энергично вымывается в самые первые стадии разложения лишайников, когда сохраняется еще достаточное количество

[1] Лишайники, как известно, являются симбиозом гриба и водоросли.

легкоподвижных оснований, обусловливающих щелочную реакцию. В дальнейшем вымывание его сильно понижается.

4. Оставшийся кремнезем при минерализации частично выпадает в форме SiO_2nH_2O (опал), отчасти же вместе с захваченным лишайниками алюминием дает синтетические кремнеглиноземные соединения типа аллофановых и монтмориллонитовых коллоидных соединений.

5. Железо частично замещает алюминий в соединениях монтмориллонитового типа, частично же выпадает в форме гидроокиси.[1]

6. Монтмориллонит, как известно, обладает способностью абсорбировать основания и обменивать их. Наиболее прочной связью обладает абсорбированный магний, чем и объясняется более высокая, чем у кальция, устойчивость его при выщелачивании минерализующихся остатков лишайника.

Перейдем теперь к остаточной части минералов. Из первичных минералов, как это уже давно известно, наиболее устойчив кварц. Он попадает в почву, не подвергаясь заметным изменениям. Что касается первичных алюмосиликатов, представленных полевыми шпатами и слюдами, то, как уже было отмечено, последние обнаруживают необычайно быстрое разрушение гифами лишайников (фиг. 2). Несомненно, что это разрушение сопровождается и химическим распадом кремнеглиноземного комплекса (ядра), составляющего основу химического строения алюмосиликатов. К такому выводу приводит самый факт поглощения лишайниками алюминия. Совершенно очевидно, что оно возможно только при условии освобождения алюминия из этого ядра и переходе его в состоянии простого или комплексного иона в раствор. До настоящего времени способность такого химического разрушения была достоверно установлена работами В. И. Вернадского и А. П. Виноградова только для диатомовых водорослей.[2] Широкое распространение и многообразие этих водорослей, которое особенно хорошо выяснено в работах А. П. Жузе,[3] позволяет пред-

[1] В настоящем очерке нет возможности представить результаты исследований руководимой мною лаборатории Почвенного института АН СССР. Положения, изложенные в пп. 2, 4 и 5, основаны на этих исследованиях. Опубликование их готовится в специальном отчете.

[2] Доклады АН СССР, т. 37 (4), 1942.

[3] Труды Верхневолжской экспедиции, вып. 4. Изд. Геогр.-экон. ин-та Ленингр. ун-та, Л., 1940.

полагать, что их деятельность почти всюду сопровождает и работу первичной литофильной растительности. В то же время мы все больше убеждаемся в том, что способность такого же разрушения алюмосиликатов не исключается и для других низших растительных организмов, в частности она вполне вероятна для лишайников, которые проводят это разрушение при посредстве выделяемых ими кислот. Более устойчивы полевые шпаты. Поверхность их зерен становится пелитизированной, т. е. как бы покрытой глинистым веществом, делающим эти зерна мутными и непрозрачными. Образование такого вещества связано с некоторой потерей поверхностными молекулами полевого шпата в основаниях (K, Na и Ca). Роговые обманки и авгиты часто обнаруживают большую устойчивость. Но в других случаях они носят следы разрушения под влиянием гиф лишайников, однако не такого сильного, как слюды. Хорошо известно, что гидратация этих минералов, равно как и слюд, и потеря ими некоторого количества Ca и Fe происходят при сохранении кристаллической формы и строения и выражаются лишь в некотором изменении оптических свойств (плеохроизм, коэффициент преломления). Необходимо еще отметить, что в составе темного мелкозема под лишайниками и мхами микроскопическое исследование обнаруживает присутствие гидрослюд. Являются ли эти вторичные минералы синтетическим образованием или остаточными от разрушения слюд и других алюмосиликатов, — установить пока не удается.

Чтобы дать полное представление о составе этого мелкозема — зародыша почвенной массы, следует выяснить состав его органической части, так называемого «гумуса». К сожалению, в этом отношении мы не располагаем необходимыми данными. Все, что удалось выяснить до настоящего времени, сводится к двум положениям:

1. Эта масса, в отличие от сформированных ортоэлювиальных почв, обладает необычайно высоким содержанием гумуса (до 30—40%).

2. В составе гумуса мелкозема обнаруживается сильно повышенное содержание битумов по сравнению с гумусом сформированных почв.

Но и эти выводы, основанные на анализе материала, собранного пока только в области высокогорных лугов, еще не подлежат широкому обобщению.[1]

[1] Анализы проведены работающей под руководством автора аспиранткой Ленинградского университета И. Ассинг.

Мы убеждаемся во всяком случае, что, во-первых, первичная литофильная растительность обладает способностью исключительно энергичного как механического, так и химического разрушения первичных минералов и, во-вторых, продукты минерализации этой растительности, предоставляя в большом количестве и в легкодоступной форме все необходимые для минерального питания высших растений элементы (особенно K и P), сообщают эмбриону почвы — мелкозему под лишайниками — исключительно высокое плодородие.[1] И неудивительно, что этот мелкозем, погребая под собой обломки и щебень коренных пород, при более или менее благоприятных условиях быстро заселяется представителями высшей растительности и с этого момента начинают развиваться уже определенные формы ортоэлювиальной почвы. Расселение высшей растительности сопровождается также заселением и размножением животных-почвообразователей: червей, насекомых, ракообразных и пр.

Следует, однако, принять во внимание, что появление высших организмов не только не исключает участия низших в развитии и преобразовании почв, но, как правило, даже усиливает это участие. Если лишайники уступают место мхам, а эти последние, в конце концов, сменяются представителями высшей цветковой растительности, то развитие микрофлоры — бактерий, а иногда и низших грибов — происходит в широких размерах. Область распространения корней высших растений — ризосфера — отмечается особенно сильной концентрацией микрофлоры.[2] Отсюда вытекает, что и энергичное разрушение первичных минералов, столь характерное для низших растительных организмов, не прекращается и при дальнейшем развитии почв.

К сожалению, эта деятельность почвенных микроорганизмов, несмотря на грандиозное значение ее в генезисе почв, не получила еще широкого освещения в работах. Здесь мы стоим перед областью вопросов, изучение которых открывает широкие перспективы, и тем приятнее отметить, что советские почвоведы в лице проф. Н. П. Ремезова уже вступили на путь

[1] Обильный сбор такого материала — литофильных лишайников и продуктов начальной стадии их минерализации, если бы природа и искусство предоставляли возможность этого, дал бы, несомненно, наилучшее удобрение.

[2] На крупную роль ризосферы впервые, повидимому, указал покойный академик В. Р. Вильямс.

таких исследований и ознаменовали это вступление интересными и ценными результатами.[1]

Каким же образом, спрашивается, происходит дальнейшее развитие ортоэлювиальных почв?

Начиная с В. В. Докучаева и его непосредственных учеников Н. М. Сибирцева и К. Д. Глинки, почвоведы нашей страны посвящали свое главное внимание элювиальным почвам. Много внесли в понимание основных типов этого почвообразования замечательные работы К. К. Гедройца, и много дополнений к характеристике отдельных форм сделали современные советские почвоведы: Л. И. Прасолов, И. Н. Антипов-Каратаев, И. В. Тюрин, С. А. Захаров, К. П. Горшенин, Н. П. Ремезов, А. А. Роде, А. А. Завалишин, О. Н. Михайловская и др. Полная характеристика состояния этой части почвоведения потребовала бы увеличения объема настоящей статьи в несколько раз. Приходится поэтому ограничиться лишь рассмотрением самых общих вопросов.

Прежде всего необходимо указать, что неизменно протекающие процессы почвенного цикла, а именно: разрушение первичных минералов, поглощение их элементов организмами, возвращение этих элементов почве и синтез новых минералов, органоминеральных и органических соединений почвы,— все эти процессы столь же неизбежно и неизменно сопровождаются выносом материала из сферы почвообразования. Именно этот материал, начиная от крупных каменных обломков и кончая молекулярными растворами, и служит в дальнейшем для образования наносов и осадочных пород. В одних случаях, особенно характерных для горных стран, вынос проявляется по преимуществу в механической работе удаления и передвижения грубых продуктов выветривания. В этих случаях почвообразование прерывается на первых стадиях — выносятся относительно свежие, неизмененные обломки первичных пород. В других случаях, в условиях уже сглаженного, пенепленизированного рельефа, выносятся водой лишь растворенные и тонко распыленные продукты выветривания. Реальные случаи представляют собой бесконечный ряд промежуточных между этими двумя крайними.

[1] В докладе своем на съезде, посвященном 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева, Н. П. Ремезов представил доказательство способности некоторых микроорганизмов, свойственных сформированным подзолистым почвам, разрушать кремнеглиноземное ядро.

Остановимся на случаях второго рода, так как именно они связаны с наиболее полными условиями элювиального почвообразования. Если сравнить между собой элементы по их миграционной способности при таких случаях ортоэлювиального почвообразования, т. е. по степени их выноса в растворенном состоянии из сферы почвообразования, то получатся следующие пять рядов:

МИГРАЦИОННЫЕ РЯДЫ ЭЛЕМЕНТОВ

Наименование рядов	*Состав рядов миграции в биосфере*	*Показатель порядка величин выноса*
Энергично выносимые	Cl (Br, J) S	$2n \times 10$
Легко выносимые	Ca, Na | K, Mg, P	n
Подвижные	Mn, SiO_2 (силикатов)	$n \times 10^{-1}$
Инертные (слабо подвижные)	Fe, Al, Ti	$n \times 10^{-2}$
Практически неподвижные .	SiO_2 (кварца)	$\frac{n}{\infty}$

Ряды отличаются один от другого резким изменением подвижности, выражаемой в различных для разных рядов порядках сравнительных величин (n колеблется в пределах от 1 до 5). В каждом ряду элементы расположены в порядке падения миграционной способности. Мы видим, что степень выноса с растворами из сферы ортоэлювиального почвообразования не вполне соответствует растворимости соединений элементов. Так, соединения кальция выносятся скорее, чем соединения калия, а кремнезема — скорее, чем железа. Кроме того, необходимо заметить, что нам неизвестны такие элювиальные образования, из которых бы даже при сильном процессе вымывания были нацело вымыты какие-либо, хотя и легкоподвижные, элементы. И то и другое обстоятельства обусловливаются, несомненно, участием в этом процессе организмов. Именно они — эти замечательные «пропускные пункты» обладают способностью удерживать отдельные элементы даже из легкорастворимых соединений, и именно они, как мы уже отметили, не допускают полной дифференциации элементов — полного отделения соединений одного элемента от соединений другого.

Вернемся теперь к формам ортоэлювиальных почв и остановимся на той стадии развития ортоэлювия, которая отличается выносом лишь глав-

ным образом элементов первой группы, энергично выносимых. Эта стадия развития связана, по понятным причинам, с условиями слабого промывания и вымывания продуктов минерализации. При таких условиях формы углекислого кальция как выработанные организмами при жизни, так и выделяемые при минерализации, вымываются лишь в небольшой степени. А так как они неизменно и неуклонно вырабатываются растениями из кальция первичных минералов, то в результате получается скопление $CaCO_3$ в профиле такой ортоэлювиальной коры выветривания или почвы. Их образование опережает вынос, и такая кора выветривания называется обизвесткованной. Углекислая известь принимает различные формы: она может быть рассеянной в мелкоземе почвы, и тогда ее присутствие обнаруживается лишь вскипанием при действии кислоты; в других случаях она выделяется пятнами на обломках щебня; в третьих — промывается до определенного горизонта, как это имеет место в описанных черноземах на базальтах Армении. Если образование обизвесткованной ортоэлювиальной коры выветривания связано с определенными гидротермическими условиями, то это не значит, что она свойственна строго определенным климатическим условиям. Гидротермические условия слабого промывания элювия могут слагаться в любом термическом поясе: и жарком, и умеренных, и полярных, а потому и почвы, соответствующие этой стадии ортоэлювия, могут быть чрезвычайно разнообразны, поскольку разнообразны будут условия климата и растительности, вегетационного периода и т. д. Не трудно также притти к заключению, что стадия эта в пределах данной геологической эпохи, т. е. пока существуют определенные условия неглубокого промывания элювия, является постоянной.

Следующей стадией является ортоэлювий, из которого выносятся в большом количестве элементы второго ряда — легковыносимые и т. д. Таким образом, развиваются кислые сиаллитные формы коры выветривания, в значительной степени лишенные оснований. При таких условиях и вновь образуемые кремнеглиноземные минералы монтмориллонитового типа в конце концов отдают свои поглощенные основания и переходят в формы кремнеглиноземных кислот, которые отличаются от монтмориллонитов не только бедностью в основаниях, но и потерей части кремнезема и приближением к составу, где $SiO_2 : Al_2O_3 = 2$. Органические соединения гумуса приобретают также характер кислот. Поэтому дальнейшее

выветривание и почвообразование протекают по преимуществу в кислой среде. Разумеется, и эта стадия кислой сиаллитной коры выветривания соответствует также определенным гидротермическим условиям и обнимает такое же большое разнообразие почвенных форм различных климатов и с различным составом органической жизни, какое соответствует известным условиям достаточно интенсивного промывания ортоэлювия. Необходимо отметить, что при образовании этой стадии коры выветривания предыдущие, в частности стадии обизвесткования, могут, по понятным причинам, не получать более или менее заметного развития. В самом деле, если условия промывания связаны с таким количеством воды, которое будет растворять и уносить $CaCO_3$, не давая ему накопиться, то очевидно, что обизвесткование продуктов выветривания не может иметь места в почвенном профиле. Иначе говоря, стадия углекислого кальция сохраняется как известный момент в истории кальция в коре выветривания, но *формирования* обизвесткованной коры выветривания может и не быть.

Совершенно особый интерес представляет образование, связанное с выносом элементов четвертого ряда и относительным накоплением кремнезема. Это стадия уже описанного нами *подзолообразования*. Это чисто *почвенное* образование, потому что оно свойственно исключительно *верхним* почвенным горизонтам элювия и *никогда не встречается в нижних горизонтах* мощной коры выветривания, в какой бы степени развития она ни находилась.

Образование подзола до сих пор представляет во многих отношениях открытый вопрос, над изучением которого работают почвоведы-генетики. При решении этого вопроса необходимо считаться со следующими фактами:

1. Подзолообразование в ортоэлювиальных почвах протекает в условиях лесной растительности и при наличии лесной подстилки, т. е. скопления разлагающихся листьев и хвои, образующего торфообразный поверхностный слой почвы.

2. Подзолообразование имеет место как на кислых кварцсодержащих, так и на основных породах, лишенных кварца. Соответственно этому кремнезем горизонтов подзола слагается не только из первичного кварца, но и из вторичного, образовавшегося из кремнезема распавшихся силикатов и выделенного организмами при минерализации (фитолитарии).

3. В громадном числе случаев вынесенные из подзолистого горизонта полуторные окислы образуют скопления в нижней части почвенного профиля (на глубине менее 1 м).

Все говорит о том, что в этом случае мы имеем дело с исключительно сильными реагентами, которые, с одной стороны, препятствуют синтезу кремнеглиноземных соединений типа глинных минералов, а с другой — сообщают подвижность инертным соединениям железа и алюминия. Энергия этих реагентов, однако, быстро угасает, и действие их не распространяется на большую глубину. Наиболее вероятным источником таких реагентов являются органические соединения подстилки.

Перейдем теперь к тем глубоким формам коры выветривания, образование которых связано с пенепленами древней в геологическом смысле суши. По своему химическому и минералогическому составу они также представляют стадии остаточного ортоэлювия, из которого вымываются элементы в том же порядке их миграционной способности. Так, красноземы представляют сиаллитную кислую кору выветривания, в которой первичные силикаты и алюмосиликаты в значительной степени потеряли основания, алюмосиликаты перешли в форму глинных минералов с отношением $SiO_2 : Al_2O_3$, близким к 2, т. е. с потерей и большого количества кремнезема, а железо отчасти приняло участие в глинных минералах, отчасти же выделилось в форме свободной гидроокиси. Каолины отличаются от красноземов ничтожным содержанием или почти полным отсутствием железа, а латериты являются более развитой формой элювия, теряющей элементы 3-й группы и состоящей в крайнем проявлении почти исключительно из полуторных окислов и кварца.

Но внешним признаком этих глубоких частей ортоэлювия является сохранение структуры и строения коренной породы. Первичные минералы породы переходят в новые, сохраняя свою форму и очертания. Таковы, например, глинные минералы каолинов — каолиниты, которые образуют обычно псевдоморфозы по слюдам и полевым шпатам. Это именно и служит внешним признаком отличия подпочвенной от верхней части ортоэлювия, которая никогда не имеет структуры коренной породы, ибо всегда формируется при наличии механического разрушения. Можно было бы полагать, что глубокие толщи ортоэлювия образуются исключительно под вековым воздействием просачивающихся из почвенной части растворов. Однако нельзя отрицать и

возможного участия в этих процессах микроорганизмов, и только непосредственное участие высших растений здесь, несомненно, исключается.

Как не трудно понять, существует прямая зависимость между развитием верхней и подпочвенной части ортоэлювия. Так, ортоэлювиальные почвы с обизвесткованными горизонтами не могут быть связаны с мощным развитием подпочвенной коры выветривания, ибо такое развитие требует длительного и глубокого промывания, при котором $CaCO_3$ из почвы будет, несомненно, вынесен. Но перенесение обизвесткованного горизонта в глубокие горизонты коры выветривания вполне возможно, и подобные явления известны. Так, под мощной красноземной корой выветривания в Аджарии, на глубине 10—8 м, где уже начинается коренная порода — порфириты, наблюдаются иногда скопления $CaCO_3$.

Естественно, что почвенная часть всегда будет представлять стадию более сильного выщелачивания ортоэлювия, чем более глубокая. И не удивительно, что подзолообразование — этот интенсивный, но чисто поверхностный почвенный процесс — может проявляться на различно выщелоченных формах коры выветривания. Иногда он имеет под собой сиаллитную кору выветривания, далеко еще не лишенную оснований, иногда кислую, в других случаях он наблюдается на красноземах и даже на латеритах.

Элювий, возникающий на осадочных породах, — параэлювий проходит аналогичные стадии, и особенности его почв и глубоких элементов коры выветривания связаны с характером пород. В этом отношении большой интерес представляет красноцветная кора выветривания многих известняков (terra rossa). По существу она является остаточным от вымывания углекислой извести скоплением кремнеглиноземного материала с бо́льшим или меньшим участием железа. Ее основное отличие от красноземной коры выветривания заключается в том, что она представляет в разных местах различные степени освобождения от углекислой извести. Так, в окрестностях Евпатории она еще богата известью и несет на себе степные почвы, а в горной части Крыма, на юрских известняках, в верхней части, она сильно выщелочена и на ней лежат горнолуговые кислые почвы.

Всякая мало-мальски обширная область, занятая континентальными наносами, например область южнорусского лёсса или область древнего аллювия (Кура-Араксинская, Прикаспийская низменность и пр.) в конце

концов вырабатывает свой рельеф с постоянной или периодической гидрографической сетью и с водоразделами различного порядка. На этих водоразделах также возникают элювиальные процессы, снова перерабатывающие и отмывающие некогда отложенный материал. В этом случае мы говорим о неоэлювии. Неоэлювиальные почвы подвергались наиболее многочисленным описаниям и исследованиям, так как играли и играют главную роль в земледелии. Однако изучение генезиса на этих объектах встречает непреодолимые препятствия за невозможностью установить истинную материнскую породу и отличить признаки современного почвообразования и выветривания от тех, которые обусловлены происхождением самого наноса. Здесь мы имеем почвы на почвах (как, например, на лёссах) и выветривание на продуктах выветривания, и здесь мы никогда не восстановим и не изучим ни начала, ни первых стадий почвообразования — не изучим эмбриологии почв. Именно поэтому ортоэлювиальные почвы и представляют тот материал, на котором можно выяснить основные законы генезиса почв.

И неоэлювиальные почвы, и многообразные формы субаквальных и супераквальных являются в конце концов производными от ортоэлювиальных, которые дают первичный материал и для наносов, и для всех последующих образований на них.

Пределы статьи не позволяют останавливаться на всех этих образованиях, хотя советские почвоведы дали много ценных и глубокосодержательных работ в области изучения их.[1]

Общее заключение, которым мы заканчиваем наш очерк, сводится к тому, что наиболее могучими, наиболее яркими деятелями в процессах выветривания и почвообразования являются организмы и вода.

[1] Особенно большое развитие получили вопросы генезиса супераквальных почв, связанных с накоплением и миграцией легкорастворимых солей (хлоритов и сульфатов). И начало этому развитию, положенное работами Н. А. Димо и позже К. К. Гедройца, и дальнейшие исследования целого ряда авторов, в частности Д. Г. Виленского, Е. Н. Ивановой и особенно В. А. Ковда, позволяют утверждать, что изучение таких почв, создавшее крупный отдел почвоведения, проводилось почти исключительно советскими почвоведами.

Академик
В. А. Обручев

УСПЕХИ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ В СССР

режде чем говорить об успехах мерзлотоведения в СССР, нужно дать понятие о том, что такое вечная мерзлота и как развивалось мерзлотоведение до Октябрьской революции.

Всем живущим в умеренном и в холодном климатах земли известно, что с наступлением зимних холодов почва на полях, огородах, дорогах твердеет при замерзании влаги, содержащейся в ней. Эта временная мерзлота почвы интересует преимущественно строителей, которым при земляных работах в зимнее время приходится тратить топливо на оттаивание мерзлой почвы, не поддающейся ни лопате, ни кайле.

Но в некоторых местностях — на самом севере Европы, на севере и востоке Азии и на севере Северной Америки — почва даже в теплое время года на некоторой глубине от поверхности остается мерзлой и твердой (если она влажная), содержит кристаллы, прослои и линзы льда. Это «вечная мерзлота», как ее называют, хотя правильнее называть ее долговечной или многолетней, так как в предшествующий геологический период, при других климатических условиях, такой мерзлоты не было, а в будущем, при сильном изменении климата, она может исчезнуть. В глубину вечная мерзлота распространяется, в зависимости от местных условий и географической широты, на метры, десятки и даже сотни метров; местами мерзлые слои перемежаются с талыми или же

вечная мерзлота образует отдельные участки, «острова», среди талой почвы.

В пределах СССР вечная мерзлота в Европейской части Союза известна только на северо-востоке Кольского полуострова и в низовьях рек Мезени и Печоры; за Уралом южная граница ее проходит на р. Оби уже около Березова, а к востоку от р. Енисея, в среднем его течении, резко, почти по меридиану, отступает на юг до государственной границы и уходит далее в пределы Северной Монголии и Маньчжурии. В бассейне р. Амура она охватывает горную область Малого Хингана, оставляя свободной долину Амура выше и ниже ее, за исключением низовья. Свободны от вечной мерзлоты (кроме отдельных участков) Уссурийский край, о-в Сахалин и бóльшая, южная часть полуострова Камчатки. В общем площадь, занятая вечной мерзлотой в СССР, охватывает около 10 млн. км², что составляет 45% территории всего Союза. Эти цифры сразу показывают теоретическое и практическое значение вечной мерзлоты для народного хозяйства страны. Мощность, т. е. толщина слоя вечной мерзлоты, вдоль южной границы ее распространения небольшая и только местами достигает 20—40—60 м, как это наблюдается, например, в Читинской области. Здесь она образует лишь острова среди таликов; к северу от южной границы мощность вечной мерзлоты быстро увеличивается, достигая в Якутске уже 200—216 м, а на Крайнем Севере, у мыса Нордвик моря Лаптевых, — даже 600 м. Температура толщи вечной мерзлоты вблизи южной границы области ее развития около — 0.5° C, севернее она колеблется между —1.5 и —5°, а еще севернее — уже ниже —5° C (на глубине 10—15 м от поверхности).

В толще вечной мерзлоты не только имеются кристаллы и прослои льда и даже скопления его до 20—30 м мощностью, но сохранились целые трупы исчезнувших на земле млекопитающих, особенно мамонта. Эти животные существовали в течение последнего ледникового периода, и полная сохранность их трупов, с кожей, волосяным покровом, внутренностями и даже остатками пищи, доказывает долговечность вмещающей эти трупы мерзлоты, предохранившей их от гниения. Нахождение этих трупов впервые обратило внимание ученых на явление самой вечной мерзлоты, которая коренным жителям этих областей, конечно, была известна издавна и которой они пользовались для сохранения в теплое время скоропортящихся припасов в ямах, вырытых в мерзлой почве.

Первые сведения о находке трупов мамонта в мерзлой почве Сибири сообщил в конце XVII века Витзен в своем большом сочинении о Северной и Восточной Татарии, а в половине века воеводы Головин и Глебов сообщали в Москву, что в Якутске земля и среди лета не растаивает. Посланные Петром I в первой половине XVIII века экспедиции Мессершмидта и Гмелина собрали некоторые сведения о вечной мерзлоте в Сибири. Гмелин сообщил, что в Якутске при копании колодца обнаружили мерзлоту даже на глубине 100 футов (30.48 м), и объяснил это отсутствием грунтовой воды. Во второй половине XVIII века Паллас сообщил о находке трупа носорога на р. Вилюе, а Сарычев — о трупе мамонта на р. Алазее. В самом конце века в дельте р. Лены нашли целый труп мамонта, и экспедиция Адамса, посланная Академией Наук в 1805 г., собрала его остатки и писала, что он находился среди льдин. Врангель, Геденштром и Фигурин в первые десятилетия XIX века сообщали о вечной мерзлоте и ископаемом льде на северо-востоке Якутской области, и сообщения об этом явлении природы возбудили внимание ученых Западной Европы, часть которых отнеслась к ним с явным недоверием. Так, Л. фон-Бух считал их ненадежными, а известие Гмелина о мерзлоте в колодце Якутска на глубине 30.48 м неправдоподобным. Он заявил, что «это известие не следовало бы повторять в учебниках, как доселе делается, а показания казаков не должно было бы употреблять для подкрепления столь странного и невероятного факта». Он никак не мог себе представить, чтобы кроны могучих лесов шумели в высоте, если под корнями деревьев находится вечномерзлая почва. Это сочетание кустарников и древесной растительности с вечной мерзлотой (на небольшой глубине), в которую не могли проникать корни растений, казалось ученым невозможным.

В 1827 г. купец Шергин, живший в г. Якутске, захотел выкопать у себя во дворе колодец, чтобы иметь всегда воду вместо той, которую летом приносили или привозили из рукава р. Лены, протекавшего вдоль города, а зимой получали, растапливая снег и лед по обычаю якутов. Колодец начали копать, но на глубине 30 м воды все еще не было, а земля была мерзлая. Шергин хотел бросить эту затею, но его уговорили продолжать рытье колодца, который за несколько лет достиг глубины в 116.4 м, оставаясь без воды и в толще вечной мерзлоты. Сведения об этом колодце, превратившемся в настоящую «шахту Шергина», дошли до Академии Наук и очень заинтересовали ее.

Академик Бэр собрал все имевшиеся данные о вечной мерзлоте и ископаемом льде, подверг их обработке и критике и побудил Академию Наук послать молодого ученого Миддендорфа в Сибирь для проверки на месте этих данных и производства точных наблюдений в шахте Шергина в Якутске. Для Миддендорфа он составил особую инструкцию с рядом вопросов, на которые нужно было собрать и дать ответы. Сводка Бэра о мерзлоте и ископаемом льде была уже набрана в типографии Академии на немецком языке, но почему-то не издана; сохранился в архиве один экземпляр, который дает возможность ознакомиться с этим трудом.

Экспедиция Миддендорфа на север и восток Сибири в 1842—1845 гг. положила прочное начало изучению вечной мерзлоты. Он посетил Туруханск, где провел буровые скважины с наблюдением температуры почвы, в Якутске изучил подробно Шергинскую шахту, организовал определение температуры на разных глубинах в ее стенках и на дне, провел новые скважины в окрестностях города и на пути оттуда на Амур и везде собирал сведения о вечной мерзлоте. По наблюдениям в Шергинской шахте он вычислил геотермический градиент и определил вероятную мощность толщи вечной мерзлоты в Якутске, которая оказалась очень близкой к определенной в последнее время непосредственными измерениями в глубоких буровых скважинах. Результаты экспедиции убедили и ученых Западной Европы, а Гумбольдт в своем сочинении «Космос» отметил наличие вечномерзлой почвы в Сибири в границах, определенных Миддендорфом.

Экспедицией Миддендорфа систематическое изучение вечной мерзлоты в сущности началось и закончилось. За вторую половину XIX века можно отметить только экспедицию Бунге и Толля в бассейн р. Яны и на Новосибирские острова, предпринятую с геологическими задачами, особенно сбора остатков четвертичных млекопитающих в вечномерзлой почве; ими были собраны данные об ископаемых льдах, которые Толль считал остатками ледникового покрова, а Бунге объяснял их образование различным образом. Много сведений о наледях, ископаемом льде и условиях сохранения трупов вымерших животных собрал в Якутской области Майдель. Шмидт и Лопатин по поручению Академии изучали местность в низовьях р. Енисея, причем первый раскапывал в Гыданской тундре остатки мамонта. При развитии золотопромышленности в Ленском районе, в Баргузинской тайге и других частях Забайкалья и в Амурской области владельцы приисков и инженеры впервые ознакомились с вечной мерзло-

той и ее особенностями при более глубоких земляных работах. Скованные мерзлотой в твердую породу слои «торфов» (галечников, илов, песков) и золотоносного пласта приходилось оттаивать теплым воздухом или огнем для облегчения их разработки. В Ленском районе, где глубоко залегающие золотоносные россыпи приходится эксплоатировать подземными работами, техники встретили различные условия. В одних долинах вся толща наносов, мощностью от 20 до 90 м, была мерзлая, углублять шахты и проводить штреки приходилось при помощи динамита, словно в скальных породах, или оттаивая мерзлоту пожогами. Работы в этих условиях стоили дороже, чем в талой почве, но зато шахты и штреки были сухие, стояли прочно и работать можно было в валенках. Но в большинстве долин мерзлые слои подстилались или чередовались с талыми. Талые илы представляли плывуны. При углублении шахт был необходим водоотлив, шахты нередко искривлялись, в штреках сочилась или лилась вода. В мерзлых толщах встречались прослои и линзы ископаемого льда.

В Амурской области, в толще «торфов», покрывающих золотоносный пласт, встречались слои ископаемого льда в несколько метров мощности. Образчики этого льда были присланы зимой посылками в Иркутское горное управление, где я имел возможность изучить лед. Он изобиловал пузырьками воздуха, имел зернистую структуру и представлял не речной лед, образовавшийся при замерзании воды, а фирновый из скоплений снега, но, судя по размерам зерен, не ледниковый. О вечной мерзлоте в Ленском районе писал Кузьмин, в Амурской области — Майер. Ячевский определил южную границу ее распространения.

При постройке Сибирской железной дороги, именно Иркутского, Забайкальского и Амурского участков, строителям пришлось при сооружении станций, казарм, депо, водонапорных башен, полотна и мостов постоянно иметь дело с вечной мерзлотой и волей-неволей знакомиться с ее особенностями. В Забайкалье при изысканиях дороги горн. инж. Сергеев произвел ряд наблюдений в отношении замерзания воды в мерзлых слоях. Наибольшее затруднение вызывало водоснабжение станций в связи с промерзанием до дна небольших рек, прудов и колодцев. Геолог Львов издал большой труд о водоснабжении на западной части Амурской железной дороги, в котором собрал много новых данных о развитии и особенностях вечной мерзлоты. Появились работы о влиянии вечной мерзлоты на различные технические сооружения (Богданов, Пассек, Мацеевич),

в которых подводились итоги печальному опыту игнорирования особенностей вечной мерзлоты во время постройки Забайкальской и Амурской железных дорог. В результате того, что строители не считались с этими особенностями, происходили многочисленные и разнообразные деформации сооружений вплоть до их разрушения в некоторых случаях, искривления и выпучивания полотна и мостов, требовавшие ремонта, на который тратились миллионы. Кроме наблюдений, связанных с постройкой и эксплоатацией железных дорог в течение конца XIX и первых 15 лет XX века, вечной мерзлотой занимались почвенно-ботанические экспедиции Переселенческого управления, метеорологи Шостакович и Сумгин, последний в качестве наблюдателя на станции Бомнак в Амурской области. Академия Наук посылала экспедиции Герца, Толмачева и Воллосовича для раскопок мамонта на северо-востоке Якутии.

После Октябрьской революции быстрая индустриализация Союза вызвала бурный рост социалистического строительства в государстве, в том числе и в областях вечной мерзлоты, с особенностями которой нужно было своевременно считаться. Ее изучением заинтересовались отдельные лица и даже ведомства; были учреждены ведомственные мерзлотные станции в Петровске-Забайкальском, в Сковородине на Амурской железной дороге и лаборатория в Ленинграде. Появились работы технического характера Евдокимова-Рокотовского, Петрова, Чернышева, Цытовича, сборники Института пути НКПС. М. И. Сумгин напечатал в 1927 г. во Владивостоке книгу «Вечная мерзлота почвы в СССР», в которой собрал все, что было известно об этом явлении в литературе, и наметил целый ряд вопросов, требовавших дальнейшего изучения для своего разрешения.

Изучение вечной мерзлоты М. И. Сумгин стремился поставить правильно и всесторонне. Ему было известно, что кое-где уже имеются небольшие станции и лаборатории, в которых производятся опыты и наблюдения над замерзанием и оттаиванием грунтов, что кое-кто изучает деформации зданий, мостов и дорог, но все это делается разрозненно, без системы, и он считал необходимым организовать центр для объединения отдельных исследователей, для правильного и систематического ведения наблюдений и для разработки теоретических вопросов.

М. И. Сумгин ознакомил академика В. И. Вернадского с положением вопроса, заинтересовал его, и В. И. Вернадский, как ученый с широким

кругозором, понял все значение изучения вечной мерзлоты, необходимости объединяющего и руководящего центра и его организации не в одном из заинтересованных ведомств, а именно в системе Академии Наук. В конце лета 1930 г. В. И. Вернадский организовал небольшое совещание из физиков, метеорологов, географов и геологов для обсуждения этого вопроса. М. И. Сумгин сделал краткий доклад о распространении вечной мерзлоты в Союзе, ее значении для строительства и задачах ее планомерного изучения. Совещание одобрило предложение об организации в Академии Наук особой комиссии по этой отрасли знания и представило его в Президиум. Последний избрал меня, как единственного из академиков, хорошо знающего Сибирь, в качестве председателя комиссии, получившей одну штатную единицу для ученого секретаря. Место последнего, естественно, занял М. И. Сумгин.

Так родилась 17 лет назад эта комиссия, которая начала развивать и постепенно расширять свою деятельность. Формирование кадров ее научных сотрудников встретило сначала большие затруднения, так как ни в одной высшей школе не читался хотя бы не обязательный или периодический курс о вечной мерзлоте и потому не выявлялись молодые люди, желающие посвятить себя этой новой отрасли знания, а немногочисленные старые деятели все были заняты в других учреждениях и на строительстве. М. И. Сумгину пришлось добиться разрешения самому прочитать курс лекций в двух высших учебных заведениях Ленинграда и подобрать себе помощников и сотрудников. Первым из них был В. К. Яновский. Хорошей школой для подготовки сотрудников явились исследовательские партии при изысканиях Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, в которых комиссия приняла живое участие в 1932—1934 гг. Молодые участники партий знакомились на полевой работе с разными явлениями, связанными с вечной мерзлотой, и обучались методам ее изучения.

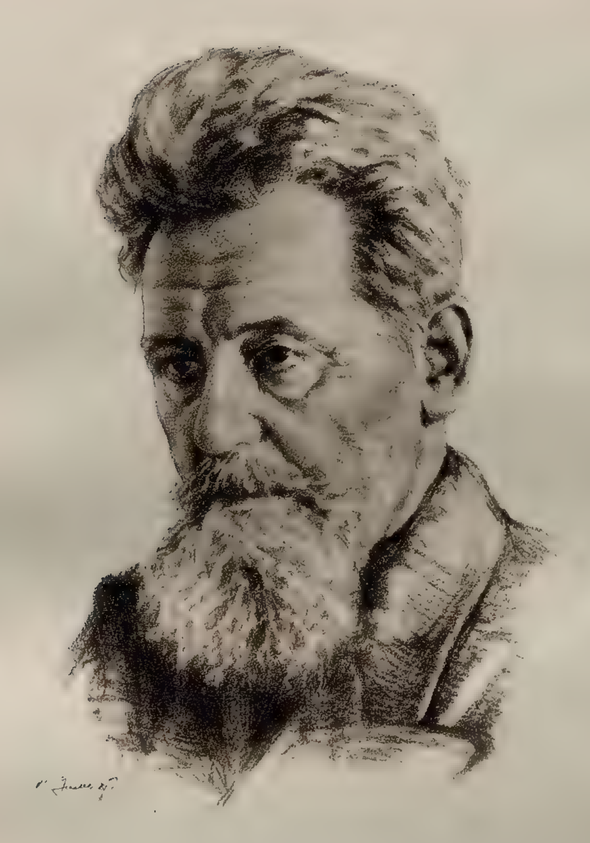
Эти работы, организованные и руководимые М. И. Сумгиным, дали комиссии первые кадры сотрудников. Первое всесоюзное совещание по вечной мерзлоте, устроенное комиссией, ознакомило с ее задачами заинтересованные круги строителей, работавших в Сибири и в Архангельской области, а также привлекло новых сотрудников. В дальнейшем учреждение аспирантуры в Академии Наук явилось средством систематической подготовки молодых кадров.

К концу первого пятилетия своего существования комиссия доказала не только то, что она приносит реальную пользу социалистическому строительству, но и то, что рамки и права, которые даются академическим комиссиям для их деятельности, уже совершенно не соответствуют предъявляемым к ней запросам и размаху ее исследований. Поэтому комиссия в 1936 г. была преобразована в Комитет, а еще три года спустя — в Институт мерзлотоведения.

Кипучая деятельность малочисленных, но преданных делу советских мерзлотоведов привела к тому, что за истекшие полтора десятка лет сформировалась новая научная отрасль — мерзлотоведение. Разрозненные раньше наблюдения и исследования приведены в систему, установлены основные закономерности и намечены дальнейшие пути развития новой науки.

Мерзлотоведение в СССР развивалось преимущественно потому, что при советской власти началось усиленное хозяйственное освоение области вечной мерзлоты, разработка ее огромных естественных богатств. Чтобы здания и сооружения не деформировались и не разрушались, потребовалось детальное изучение особенностей вечной мерзлоты и ее влияния на сооружения. Эти требования практики сочетались с большим теоретическим интересом, какой представляло изучение вечной мерзлоты и сопутствующих ей явлений. Успеху формирования мерзлотоведения способствовало наличие большого фактического материала, накопление которого началось еще в начале прошлого века, как отмечено выше.

Успех советских исследователей вечной мерзлоты был обусловлен в большой мере тем, что наряду с экспедиционным методом ее изучения, исключительно применявшимся до революции, они широко применили стационарный метод. Для этой цели Академией Наук СССР и некоторыми заинтересованными ведомствами (НКПС, ГУСМП, НКВД) были организованы мерзлотные станции, на которых ведется систематическое изучение вечной мерзлоты и явлений, с нею связанных, на месте, в полевых условиях, в течение ряда лет подряд, что очень важно для получения наиболее ценных результатов, зачастую недостижимых при экспедиционном методе. В настоящее время работают четыре мерзлотные станции Института мерзлотоведения (в Воркуте, Игарке, Якутске, Анадыре) и несколько ведомственных станций (в Абези — на Северо-Печорской ж. д., в Норильске, Сковородине, Петровске-Забайкальском и в Колымском бассейне).



В дореволюционный период изучение вечной мерзлоты велось лишь попутно при различных других исследованиях — геологических, географических, палеонтологических, при постройке железных дорог, горных работах и т. д. В советское же время изучение вечной мерзлоты сделалось самостоятельной задачей, особенно после организации академического центра в виде Комиссии по изучению вечной мерзлоты. Вместе с тем это изучение сделалось планомерным и целеустремленным, направленным на разрешение наиболее важных научных и народнохозяйственных задач; научная работа по мерзлотоведению стала органической частью единого планового социалистического хозяйства нашей страны.

Все это вместе взятое позволило в короткий срок полутора десятков лет, в очень трудных и сложных условиях, при крайней ограниченности кадров, создать новую научную отрасль — мерзлотоведение — и дать за этот срок больше работ по вечной мерзлоте, чем было сделано за весь предшествовавший свыше чем столетний период. За последние два-три года развернуты работы также по изучению сезонного промерзания и оттаивания почв и грунтов, что имеет большое значение как для строительства разного рода сооружений, так и для сельского хозяйства. Хотя сезонное промерзание почв и грунтов вне области вечной мерзлоты охватывает почти всю остальную территорию СССР, причем эта территория больше и раньше заселена, чем область вечной мерзлоты, и несмотря на то, что эти территории гораздо более доступны, сезонное промерзание и оттаивание почв и грунтов изучено значительно меньше и хуже, чем вечная мерзлота. Это легко объясняется тем, что сезонное промерзание почв является обыденным явлением, к которому привыкают с детства, тогда как вечная мерзлота и некоторые ее проявления (наледи, мощные ископаемые льды) слишком необычны и поражают каждого наблюдателя, особенно приехавшего из тех районов, где вечной мерзлоты нет, своими внешними проявлениями и теми деформациями, которые они вызывают у многих сооружений, построенных из доброкачественных материалов, с соблюдением всех обычных правил строительного искусства.

Ниже дается краткий обзор основных достижений советского мерзлотоведения и важнейших задач, стоящих перед этой новой наукой.

Обзором охватываются как работы Академии Наук СССР, так и различных ведомств, изучавших вечную мерзлоту для разрешения тех или иных практических задач.

I

ОБЩЕЕ И РЕГИОНАЛЬНОЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

1) *Методика исследований* вечной мерзлоты и связанных с нею явлений представила сложную и трудную задачу, которую советские мерзлотоведы успешно разрешили в основных ее чертах, разработав не только принципы, но и многие детали мерзлотных исследований. Следует отметить внедрение геофизических методов в практику исследований мощности вечной мерзлоты (проф. А. А. Петровский). Начавшаяся в 1941 г. война и затем смерть проф. А. А. Петровского затормозили успешно развивавшиеся работы, которые удалось возобновить лишь по окончании войны. Применение в мерзлотоведении геофизических методов разведки является одной из настоятельных задач, так как эти методы могут существенно облегчить и ускорить наиболее трудоемкую часть мерзлотных исследований.

В. К. Яновским хорошо разработана методика мерзлотных исследований для инженерных целей, обоснованная многолетним опытом работ в различных районах распространения вечной мерзлоты.

2) *Определение границ распространения вечной мерзлоты* является одной из важнейших и первоочередных задач мерзлотоведения.

Советскими мерзлотоведами, главным образом М. И. Сумгиным, существенно уточнена площадь, занимаемая вечной мерзлотой в СССР, равная округленно 10 млн. км². От дореволюционного периода советские мерзлотоведы унаследовали много «белых пятен» на карте распространения вечной мерзлоты. К настоящему времени значительная часть их полностью или частично ликвидирована в результате ряда исследований (Б. Н. Городкова, Н. Г. Датского, В. К. Яновского, М. И. Сумгина — на севере Европейской части СССР; В. Ф. Тумеля — в низовьях Енисея; П. И. Мельникова и Л. А. Мейстера — в районе Игарки; А. И. Попова и С. П. Качурина — в нижнем течении р. Оби; П. Ф. Швецова, С. П. Качурина и И. А. Тютюнова — в Анадырском районе; В. М. Пономарева — в районе Нордвика; С. П. Качурина — на о-ве Врангеля; В. Ф. Тумеля — в низовьях р. Амура и на Северном Сахалине). В результате большого числа исследований оказалось возможным установить южную границу распространения вечной мерзлоты в СССР. Эта граница на большей части своего протяжения определена пока только приблизительно, так

как для точного определения необходимо выполнять большие трудоемкие работы — шурфовку или бурение, и не ранее конца лета, чтобы не сделать ошибки. Это задача еще многих лет.

Кроме того, мерзлотной съемкой охвачена лишь незначительная часть территории, на которой имеется вечная мерзлота, — менее 2%, что обусловлено, как сказано, большой трудоемкостью работ по мерзлотной съемке, с одной стороны, и огромностью территории области вечной мерзлоты — с другой. Задачей будущего является производство мерзлотной съемки на остальной площади распространения вечной мерзлоты, начиная с районов, имеющих наибольшее народнохозяйственное значение.

3) *Выяснение характера вечномерзлой толщи*, ее температурного режима и мощности представило также одну из основных задач. Пока выяснено в общих чертах распределение вечной мерзлоты сплошной, мерзлоты, перемежающейся с таликами, и мерзлоты островной.

В 1945 г. закончено В. Ф. Тумелем составление нового варианта карты распределения вечной мерзлоты в СССР по признаку ее мощности, масштаба 1 : 10 000 000, и уточнена южная граница вечной мерзлоты по последним данным. В основу этого варианта взята карта распространения вечной мерзлоты в СССР, составленная М. И. Сумгиным в 1937 г. Следует отметить, что карта М. И. Сумгина была основана на данных наблюдений, примерно, в 800 пунктах и не давала указаний о мощности вечномерзлой толщи. Новая карта основана на материале, включающем около 2000 разрезов, что позволило не только уточнить границу распространения вечной мерзлоты, но и увеличить масштаб карты и дать ей несколько иное содержание. Однако и к настоящему времени относительно освещенные территории перемежаются обширными пространствами, на которых одна исследованная точка приходится на 100—200 км^2, что требует дальнейших исследований и больших работ для доведения карты до более крупных масштабов и отражения на ней вопросов генезиса и возраста вечномерзлых толщ, а также вопросов деградации и нарастания вечной мерзлоты.

4) В порядке первого приближения произведено *районирование области вечной мерзлоты по температурному признаку*. М. И. Сумгин разделил область вечной мерзлоты по температуре на глубине 10—15 м (где затухают сезонные влияния наружной температуры воздуха) на три следующие зоны: 1) территории, где эта температура по преимуществу ниже —5°, 2) где она колеблется в пределах от —5° до —1.5°, и 3) где она, как

60*

правило, выше —1.5°. Это районирование по температурному признаку не претерпевало изменений до настоящего времени. Задачей будущих исследований является его уточнение и детализация на основании новых данных о температурном режиме вечной мерзлоты.

5) Наиболее трудной и сложной задачей является *определение мощности вечной мерзлоты*, поскольку оно связано с глубоким бурением, позволяющим точно установить нижнюю границу мерзлоты. Обычно эта задача разрешалась попутно при проходке глубоких шурфов, буровых скважин и шахт во время производства различных горных работ. К настоящему времени мощность вечной мерзлоты определена в ряде пунктов: Нордвик, Якутск, Воркута, Игарка, Сковородино, Петровский завод и др. Однако это только первые шаги, далеко не достаточные для разрешения вопроса о времени и глубине распространения волн холода и тепла в земной коре. Точное решение этой проблемы, требующее глубокого бурения и геофизических методов изучения, займет много лет. Максимальная мощность, около 600 м, обнаружена в Нордвике, 200—216 м в Якутске, 60—70 м в Воркуте и Забайкалье. По мере приближения к южной границе распространения вечной мерзлоты мощность ее постепенно уменьшается и сходит на-нет.

6) *Деградация вечной мерзлоты*, т. е. признаки ее сокращения и исчезновения в связи с общим изменением климатических условий, с обжитием местности, изменением растительного покрова, строительством, обнаружена во многих пунктах.

Теория деградации вечной мерзлоты была выдвинута М. И. Сумгиным около пятнадцати лет назад и подтвердилась позднейшими наблюдениями в различных пунктах. Этой теории не противоречат отдельные факты нарастания и усиления вечной мерзлоты при особо благоприятных для этого местных условиях.

Необходимо, однако, отметить, что при настоящем уровне наших знаний можно лишь констатировать факт деградации вечной мерзлоты, но ни о причинах, ни о скорости деградации, ни о ее продолжительности ничего точного сказать нельзя.

7) *Ископаемый лед* в толще вечной мерзлоты содержится не только в виде отдельных кристаллов, но также в виде прожилков, линз, прослоев и даже пластов значительной мощности, до 20—30 м и более. По этой проблеме собрано много данных. В Якутской республике, где ископаемые льды

особенно развиты, проведены специальные наблюдения в связи с вопросом о таянии этих льдов, т. е. деградации мерзлоты, и его значением для строительства и сельского хозяйства. Изучены качества ископаемого льда и выяснены способы его образования.

Однако сколько-нибудь изучены и описаны ископаемые льды главным образом побережья Ледовитого океана, тогда как изучение льдов внутренних районов Сибири только началось.

После исследования академика А. А. Григорьева в Центральной Якутии большую работу по исследованию ископаемых льдов Ленско-Алданского водораздела выполнила Якутская мерзлотная станция (Н. А. Граве, А. И. Ефимов, П. А. Соловьев). Эта работа дала много нового для освещения происхождения ископаемых льдов и термокарстовых явлений в результате их таяния. Вопрос этот, наряду с большим научным интересом, имеет огромное народнохозяйственное значение ввиду той остроты, какую приобрела задача водоснабжения в Якутской республике.

8) *Наледи*, т. е. ледяные покровы на дне и склонах долин, образующиеся зимой при замерзании речной воды, выступающей из-под льда, а также грунтовой и ключевой воды, выступающей из почвы, изучены в разных местах. П. Ф. Швецовым и В. П. Седовым обследованы громадные наледи в хр. Тас-хаяхтах площадью в десятки квадратных километров и мощностью в несколько метров. Выяснено, что наледи создаются выходом на поверхность глубоких подмерзлотных вод. Такие воды получат большое значение для промышленности в районах, где реки зимой промерзают до дна. Изучены булгуняхи — бугры с ледяным ядром, представляющие подземные наледи, и выяснено их происхождение и значение.

Исследования А. С. Подъяконова, М. И. Сумгина, Н. И. Толстихина, В. Г. Петрова и др. с большой полнотой выявили природу наледных процессов и сделались прочной базой для разработки проверенных на практике мероприятий по борьбе с наледями, а также для дальнейшего углубленного изучения наледных процессов.

Одной из наиболее крупных задач в этом направлении является изучение режима и генезиса гигантских наледей Якутии, намеченное к выполнению в ближайшие годы посредством специальных экспедиций в районы рек Яны, Индигирки и Колымы.

Исследования П. Ф. Швецова и В. П. Седова побудили А. М. Чекотилло составить в 1940 г. сводку всех имевшихся данных о гигантских

наледях этой обширной территории, которую он назвал областью великих наледей. Оказалось, что здесь имеются десятки огромных наледей, занимающих площади в десятки квадратных километров и накапливающих за зиму десятки миллионов кубических метров льда. Самая большая из них, называемая по-якутски Улахан-тарын (т. е. Большая наледь), на р. Моме, занимает площадь свыше 100 км^2, а масса ее льда измеряется полумиллиардом кубических метров. Многие из этих наледей еще не описаны, и о них имеются лишь краткие попутные упоминания. Изучение гигантских наледей обещает по-новому осветить некоторые сложные и интересные вопросы гидрогеологии и гидрологии и вместе с тем имеет большое практическое значение в связи с задачами водоснабжения промышленных предприятий этих районов.

9) *Водоносность вечномерзлой толщи* — присутствие вод надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных, их режим, дебит и качества — изучалась в разных местах. Н. И. Толстихин разработал характеристику и классификацию грунтовых вод области вечной мерзлоты, получившую общее признание.

Упомяну о крупном достижении в виде открытия Якутской станцией Института мерзлотоведения (Н. И. Толстихин, В. М. Максимов, А. И. Ефимов, П. И. Мельников) достаточно мощного притока подмерзлотных вод хорошего качества с глубины в 400—500 м для имеющей первостепенное значение организации водоснабжения г. Якутска.

Для правильной оценки этих работ следует учесть, что еще совсем недавно самая возможность нахождения подмерзлотных вод в районах сплошного распространения вечной мерзлоты такой большой мощности вызывала большие сомнения.

Задачей будущих исследований является изучение вопроса пополнения запасов подмерзлотных вод в этих районах, а также изучение закономерностей залегания их и режима.

Для водного режима области распространения вечной мерзлоты М. И. Сумгин разработал теорию подвижного равновесия между количеством наземной и грунтовой воды и характером вечномерзлой толщи — ее мощностью, температурой, степенью географического распространения.

10) Существенно обогатились наши представления о так называемых *структурных почвах разного вида, а также о пятнах-медальонах*, широко распространенных в северных районах вечной мерзлоты. Большое

значение имела работа С. П. Качурина, осветившего солифлюкционные процессы в области развития вечной мерзлоты.

11) *Сезонная мерзлота*, т. е. замерзание почвы зимой почти на всей территории Союза, обратила на себя внимание Института мерзлотоведения незадолго до Великой Отечественной войны, когда был начат кадастр данных о сезонной мерзлоте в СССР. Работы по изучению сезонной мерзлоты развернулись в последнее время в связи с вопросом о глубине заложения фундаментов сооружений при восстановлении городов и заводов в областях, опустошенных немецкой оккупацией. В этом отношении исследования только начаты.

Разработаны исходные теоретические положения и методика классификации типов сезонной мерзлоты и ее районирование, на основе которых проф. П. И. Колосковым составлены, в порядке первого приближения (ввиду ограниченного количества фактических данных), две карты сезонного промерзания почв и грунтов на территории Европейской части СССР и Казахстана: при естественном покрове и при обнаженной от снега поверхности. Для составления таких карт по Азиатской части СССР исходных фактических данных еще очень мало.

Перечисленные проблемы по общему мерзлотоведению имеют не только теоретическое, но и практическое значение, так как связаны, и часто очень тесно, с задачами всякого рода строительства.

II

ФИЗИКА И МЕХАНИКА МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Физико-механические свойства вечномерзлых грунтов представляют очень интересную и вместе с тем сложную задачу, изучением которой заняты сотрудники центральной мерзлотной лаборатории Института мерзлотоведения, руководимой членом-корр. Академии Наук Н. А. Цытовичем, и ряд сотрудников мерзлотных станций. Эти свойства зависят от состава грунта, крупности его частиц, общей влажности мерзлых грунтов и имеют большое значение для устойчивости грунта при замерзании и оттаивании, т. е. вопросов, тесно связанных со строительством всякого рода сооружений. Изучение мерзлых грунтов уже выяснило многое, между прочим то, что вода во влажном грунте замерзает при

понижении температуры не сразу полностью, а постепенно, частями, пропорционально охлаждению, а некоторая часть не замерзает даже при очень низких отрицательных температурах.

Работы по незамерзающей воде в мерзлом грунте позволили создать новую теорию равновесного состояния воды в мерзлых грунтах (Н. А. Цытович), объясняющую влияние внешних воздействий (температура, давление и пр.) на механические свойства мерзлых грунтов и дающую ключ к управлению этими свойствами.

Незамерзающая вода найдена в грунтах области вечной мерзлоты (А. Е. Федосов, В. М. Файнциммер, З. А. Нерсесова, С. В. Шимановский) и является важнейшим фактором, без учета которого нельзя правильно определить ни запасы холода в вечномерзлых грунтах, ни скорость их протаивания, деградации и пр.

В результате исследований советских мерзлотоведов (М. И. Сумгин, Н. А. Цытович, А. Е. Федосов, М. Н. Гольдштейн и др.) разработаны основы механики мерзлых грунтов, что следует считать одним из выдающихся достижений советского инженерного мерзлотоведения.

III

ИНЖЕНЕРНОЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

Отличительной чертой советского мерзлотоведения является тесная связь его с практическими задачами, выдвигаемыми потребностями социалистического строительства. Практика обогащала теорию фактическими материалами и проверяла ее положения и обобщения, а теория освещала путь практике и двигала ее вперед. В результате советское инженерное мерзлотоведение имеет ряд крупных достижений, хотя многие вопросы требуют детализации и уточнения, а некоторые находятся еще в начальной стадии изучения.

Основные итоги, с какими пришло наше инженерное мерзлотоведение к настоящему времени, сводятся к следующему.

1) *Устойчивость сооружений*, возводимых на вечной мерзлоте, зависит от типа их фундамента, углубляемого в мерзлоту. В этом отношении строители, при деятельном участии сотрудников Института мерзлотоведения (Л. А. Братцев, А. И. Дементьев, В. Ф. Жуков, П. И. Мельников,

А. В. Ливеровский, М. И. Сумгин, Н. А. Цытович, А. М. Чекотилло, В. К. Яновский и др.), уже выработали целый ряд правил и норм, учитывающих особенности грунтов, характер мерзлоты, условия местности и назначение сооружения. Не входя в детали, нужно сказать, что разработаны два принципа строительства: с сохранением вечной мерзлоты под зданием и с уничтожением ее на значительную глубину для зданий на неустойчивой вечной мерзлоте или с устройствами, выделяющими много тепла в грунт.

Существенным достижением является теоретическая разработка и осуществление на практике строительства промышленных сооружений по принципу сохранения под ними вечной мерзлоты при помощи проветриваемого подполья (Н. А. Цытович, В. Ф. Жуков).

Блестящим образцом такого рода сооружений является электростанция в Якутске, существующая уже десять лет и не испытывающая никаких деформаций, несмотря на неблагоприятные грунты ее основания.

Менее разработаны вопросы строительства по принципу уничтожения вечной мерзлоты в основаниях сооружений ввиду чрезвычайной сложности задачи правильного учета неравномерных осадок, происходящих при оттаивании вечной мерзлоты. Однако и для этого вида строительства уже имеется ряд проверенных опытом рекомендаций и ведется работа по дальнейшему их усовершенствованию и распространению на другие случаи строительной практики.

Очень важным итогом инженерного мерзлотоведения явилось издание в 1939 г. норм и технических условий проектирования оснований и фундаментов в условиях вечной мерзлоты (ОСТ 90032—39). Но теория и практика строительства на вечной мерзлоте с тех пор сделали настолько значительные успехи, что этот ОСТ уже нуждается в существенных исправлениях и дополнениях.

2) *Водоснабжение и канализация* в условиях распространения вечной мерзлоты требуют целого ряда предохранительных мероприятий и приспособлений, которые уже выяснены и изложены в специальных статьях и инструкциях.

Разработана методика теплотехнических расчетов устройства водопроводов в мерзлых грунтах, позволяющая с достаточной для практических целей точностью рассчитывать водопроводы любой величины и для работы в разных условиях. В настоящее время в районах распростране-

ния вечной мерзлоты построены и исправно работают десятки крупных сооружений по водоснабжению железных дорог и промышленных предприятий.

3) Задачам *дорожного строительства* по полотну железных и шоссейных дорог, мостам, аэродромам, защите их от всяких деформаций и наледей советские мерзлотоведы должны были уделить много внимания и сил, чтобы успешно бороться с теми большими затруднениями, которые обусловливала вечная мерзлота и при строительстве, и при эксплоатации дорог.

Одним из наиболее существенных результатов исследовательской работы по дорожному строительству в условиях вечной мерзлоты является разработка в 1940 г. НКПС и Институтом мерзлотоведения, с привлечением ряда других заинтересованных организаций, технических указаний по проектированию и строительству железных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. Так как железная дорога является комплексным сооружением, охватывающим почти все виды строительства, то названные технические указания применимы не только для железных дорог, но и для многих других сооружений. В настоящее время технические указания требуют лишь дополнений и поправок, исходя из учета строительного опыта и теоретических исследований последних годов.

4) На основе обширного фактического материала по изучению наледных процессов, М. И. Сумгин, в конце двадцатых годов, выдвинул идею возможности управления этими процессами при известных условиях. Эта идея была вскоре осуществлена в производственных условиях В. Г. Петровым на Амурско-Якутской автогужевой магистрали. Здесь были разработаны и впервые осуществлены так называемые «мерзлотные пояса», а затем и некоторые другие активные способы противоналедной борьбы (утепление канав и русел речек), оказавшиеся очень эффективными. В 1940 г. А. М. Чекотилло обработал и обобщил известные до того времени способы *борьбы с наледями*. В результате всех этих работ наледи перестали быть тем страшилищем, какими они являлись для строителей еще совсем в недавнее время.

5) *Подземные горные работы* в толще вечной мерзлоты и в подстилающих ее талых слоях — особенности их углубления, крепления, водоотлива, вентиляции — подверглись детальному изучению и описанию

сотрудниками Воркутской станции Института, в районе которой разрабатываются угленосные отложения Печорского бассейна.

6) *Ледяные склады* для хранения в свежем, но не мерзлом виде овощей и других скоропортящихся продуктов, возводимые быстро, с минимальной затратой лесных материалов, и отличающиеся простым и дешевым содержанием и уходом, являются изобретением сотрудника Института мерзлотоведения М. М. Крылова. Они имеют большое практическое значение, уже сооружены во многих местах Европейской части Союза, в том числе на Украине, и постепенно получают все большее распространение. Продолжается работа по улучшению и упрощению конструкций ледяных складов с целью самого широкого их внедрения в народное хозяйство, учитывая успешный пятилетний срок их эксплоатации. В области мощной вечной мерзлоты Институтом испытываются хранилища, высеченные в самой мерзлоте, более дорогие для выполнения, но еще более долговечные.

Ввиду очень большого значения, которое имела деятельность Академии Наук СССР в развитии мерзлотоведения, я остановлюсь на ней особо.

Деятельность Комиссии, Комитета и Института мерзлотоведения за истекшие 17 лет выражалась, кроме индивидуальной и коллективной работы всех сотрудников по указанным проблемам, также в следующих формах:

а) В регулярных заседаниях Ученого совета, на которых делались и оценивались доклады сотрудников и гостей, обсуждались отчеты за прошлое и планы будущих работ, ставились новые вопросы и задачи.

б) Во всесоюзных совещаниях, которых до начала Отечественной войны было организовано шесть. На них съезжались лица, заинтересованные в изучении вечной мерзлоты в теоретическом или практическом отношении, ставились доклады и обсуждались все вопросы мерзлотоведения, устанавливалась тесная связь между всеми деятелями и организациями, способствовавшая обмену опытом и знаниями для успеха теории и практики в этой молодой отрасли науки.

в) В экспедициях, снаряжаемых для изучения отдельных проблем — границы вечной мерзлоты, ее мощности, деградации, ископаемых льдов, наледей, аэродромов, для участия в изысканиях по проведению железных дорог, для изучения деформаций сооружений и пр.

г) В консультациях по теоретическим и в особенности по практическим задачам мерзлотоведения в виде ответов на вопросы, предлагае-

мые разными учреждениями и отдельными лицами. Таких консультаций за 17 лет выполнено свыше 1000.

д) В экспертизах, связанных с выездом сотрудников Института на места для выполнения специальных наблюдений и работ того или иного рода и последующей обработки их результатов по дорожному, горному, аэродромному строительству, проведению буровых скважин, деформации сооружений, водоснабжению и пр.

е) В опубликовании результатов теоретической и практической деятельности сотрудников Комиссии, Комитета и Института; за 17 лет издано 15 томов трудов и подготовлено к печати 12; издано 26 брошюр и книг по отдельным вопросам и подготовлено к печати пять.

Из них надо отметить следующие фундаментальные работы: второе, дополненное издание книги М. И. Сумгина «Вечная мерзлота почвы в пределах СССР»; «Общее мерзлотоведение» М. И. Сумгина, С. П. Качурина, Н. И. Толстихина и В. Ф. Тумеля; «Основания механики мерзлых грунтов» Н. А. Цытовича и М. И. Сумгина; «Сборник Инструкций и программных указаний по изучению мерзлых грунтов и вечной мерзлоты». С 1946 г. Институт начал издавать журнал «Мерзлотоведение», в котором печатаются мелкие статьи и сообщения по вопросам мерзлоты и связанных с нею явлений, новости науки, хроника и библиография.

Необходимо упомянуть, что Институт за короткий срок своей деятельности, конечно, не успел охватить все проблемы мерзлотоведения и даже проработать до конца все проблемы, которыми он занимался. Отметим некоторые из них.

Много неясного остается еще в отношении условий всего хода процесса замерзания и оттаивания грунтов различного состава, строения и различной влажности. Большое теоретическое и практическое значение имеет беспрерывно идущая при отрицательных температурах борьба твердой и жидкой фаз воды. Эти вопросы требуют систематической и тщательной работы и длительных наблюдений как в мерзлотной лаборатории, так и в природных условиях. Теория процесса замерзания и оттаивания имеет основное практическое значение для всех вопросов строительства на вечной мерзлоте, но не лишена значения и для строительства в районах сезонной мерзлоты.

Много неясного еще в генезисе и развитии гидролакколитов, наледей, ископаемых льдов разных типов, солифлюкции и медальонов тундровой

почвы, нагорных террас, в условиях движения вод надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных.

Совершенно не выяснено и возбуждает споры отношение генезиса вечной мерзлоты к эпохам оледенения. Одни ученые полагают, что вечная мерзлота — наследие последней эпохи оледенения, в течение которой она образовалась, и в доказательство приводят сохранение в мерзлоте трупов мамонта и других животных, существовавших в течение этой эпохи. Но условия захоронения этих трупов сами по себе разъяснены еще недостаточно; те же животные существовали еще в конце последней эпохи оледенения и в начале послеледниковой, и некоторые факты указывают на возможность развития вечной мерзлоты не во время эпохи оледенения, а после нее на обширных пространствах, оставленных ледниковым покровом без защиты растительностью при суровом климате.

Институт мерзлотоведения еще не имел возможности заняться проблемами: 1) скоплений снега вообще, имеющих практическое значение для сельского хозяйства, для арктического строительства и особенно в горных местностях, в виде лавин; 2) льда речного, донного, озерного, морского и в горных местностях ледникового. Изучение этих проблем является пока задачей будущего, имеющей и теоретическое, и практическое значение.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ



Академик
И. И. Шмальгаузен

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ЭВОЛЮЦИИ

(ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА)

Учение Дарвина привело к полной перестройке биологических дисциплин. Все их содержание было переработано и освещено с новых точек зрения. Некоторые дисциплины пошли по пути бурного развития, как, например, морфология и особенно эмбриология. Кроме того, возник ряд совершенно новых разделов биологической науки, непосредственно рожденных эволюционным учением. Таковы экология с биоценологией и генетика. Однако, несмотря на то, что эволюционная теория Дарвина представляла результат синтеза всех знаний того времени, биологические науки продолжали развиваться независимо друг от друга. Их прогрессирующая специализация привела даже к еще большему разрыву между морфологией и физиологией, эмбриологией и генетикой, экологией и морфологией, заставив морфологов и особенно систематиков ограничивать свою работу пределами изучения сравнительно небольших групп родственных организмов.

Последарвиновский период развития биологии характеризуется попытками более точного установления родственных связей между организмами. Систематика становится филогенетической. Происходит усиленное накопление нового фактического материала, все более контролирующего течение процесса эволюции органического мира. Однако разработка самой теории не подвигалась вперед. Часть исследователей

молчаливо приняла дарвиновскую концепцию и не пыталась обосновать ее новыми фактами, углубить и разработать ее детали. Другие биологи выдвигали различные новые теории, которые обычно принято объединять в два основных течения — неоламаркизм и неодарвинизм. Мы не входим здесь в критику этих «теорий», но должны отметить, что все они стоят по своей методологии на неизмеримо более низком уровне, чем эволюционное учение Дарвина.

Решительный поворот в пользу дарвиновской концепции произошел лишь в нашем веке, под влиянием чрезвычайного богатства фактов, накопленного экспериментальной биологией и особенно генетикой. Данные экспериментальной генетики привели к полному опровержению основных предпосылок всех ламаркистских теорий. Однако увлечение результатами первых экспериментов привело и к ревизии дарвинизма. Были сделаны попытки заменить дарвинизм менделизмом. Де-Фриз говорил о внезапном возникновении новых элементарных видов. Менделисты полагали, что в результате мутации сразу возникают новые качества, которые в дальнейшем подвергаются лишь перекомбинированию, но по существу не изменяются. Лотси пытался объяснить весь процесс эволюции перекомбинированием генов при повторной гибридизации. По этим представлениям, роль естественного отбора сводилась лишь к уничтожению неудачных генных комбинаций. Новые же формы создаются мутацией, независимо от условий внешней среды, но могут быть использованы, если они попадают в благоприятные для них условия существования, к которым они оказываются приспособленными. Так возникла теория преадаптации (Кено), которая и до настоящего времени имеет много приверженцев.

Генетика дала большой материал, способствовавший углублению понимания эволюционного процесса. Кроме опровержения ламаркизма, она доказала прежде всего, что наследственная изменчивость имеет прерывистый характер и что эти изменения при скрещиваниях не поглощаются. Дальнейшие исследования генетиков были направлены на изучение источников и закономерностей изменчивости организмов и на анализ процессов, протекающих в популяциях. Эти исследования привели к вскрытию основных факторов эволюции и к возрождению дарвиновской концепции о роли естественного отбора.

Новые течения в генетике развивались главным образом в Советском Союзе, в Англии и в США. В Англии и в Америке возникло математи-

ческое направление, пытающееся учесть роль случайных явлений, а также взаимодействие процессов мутирования и естественного отбора в изменениях генетической структуры популяций (Фишер, Холден, Райт). Чрезвычайно большое значение имел исторический подход к изучению явлений доминантности и рецессивности, связанный с представлениями об эволюции форм выражения мутаций (Фишер, Холден, Меллер). Впрочем, здесь нельзя не отметить, что мысль об исторической обоснованности доминирования была гораздо раньше высказана и применена И. Мичуриным на практике гибридизации и селекции.

Роль советской науки в развитии новых представлений в генетике а также в возрождении учения Дарвина на новой экспериментальной базе исключительно велика. Прежде всего следует отметить направление, созданное Мичуриным и развивавшееся далее Лысенко на основе данных агро-биологической практики. Характерны для этого направления исторический подход и глубокое понимание связи организма на всех стадиях его развития с факторами окружающей среды. Советскими исследователями был выдвинут в существенно новой постановке и вопрос о значении в эволюции ненаследственных изменений. Он получил дарвинистическое разрешение в работах Е. Лукина, В. Кирпичникова и И. Шмальгаузена. Другая группа исследований была направлена на изучение источников и закономерностей мутирования (А. Серебровский, Н. Дубинин, А. Зуйтин, М. Лобашев, Н. Шапиро, Р. Берг и др.). Если толчком для этих исследований послужили работы американского генетика Г. Меллера, то новое направление исследований зародилось в СССР и лишь позднее развивалось в других странах. Это — исследования в области, получившей название популяционной генетики. Они возникли на основе теоретических соображений, высказанных С. Четвериковым, и были развиты в большой серии полевых наблюдений и экспериментов, поставленных Н. Дубининым и его сотрудниками, а также С. Гершензоном, Р. Берг, Г. Муретовым, Ю. Оленовым и др.

Проведенные ими исследования динамики генетического состава популяций в природных условиях ясно вскрывают нам роль мутирования, случайных явлений и естественного отбора в его различных формах.

Нельзя не отметить, что и непосредственное изучение действия естественного отбора в экспериментальных и полевых условиях достигло

наибольших успехов именно в нашей стране. В этой связи прежде всего напомним классические исследования замечательного русского ботаника Н. В. Цингера, работы которого (1909, 1928) являются непревзойденным до сих пор образцом тщательного экспериментального исследования, связанного с обширными полевыми наблюдениями и мастерским их анализом. Далее отметим исследования академика В. Сукачева по изучению борьбы за существование у растений, работы С. Северцова, Н. Наумова и С. Фолитарека по изучению борьбы за существование у позвоночных животных, полевые наблюдения М. Беляева над естественным отбором и экспериментальные исследования естественного отбора, проведенные Н. Дубовским и в особенности М. Камшиловым. Наконец, по вопросам видообразования советские ученые сделали значительный вклад в науку. Из авторов, работавших по изучению генетических факторов видообразования, следует назвать Г. Левитского, М. Навашина, М. Розанову и Н. Дубинина. Экологические факторы видообразования изучались Е. Синской, А. Промптовым и др.; географические факторы — Н. Вавиловым, Е. Лукиным и др. В особенности большое значение имеют исследования Н. Вавилова по вопросу о происхождении культурных растений.

Накопление большого экспериментального материала, естественно, потребовало его систематизации, критического сопоставления и объединения на основе более широких теоретических представлений. Таким образом, возникает ряд попыток синтеза новых данных в эволюционном учении (работы Дж. Хаксли, И. Шмальгаузена и др.).

В настоящем сообщении я не могу дать полного обзора результатов этой работы даже в отношении одних только факторов эволюции. Остановлюсь лишь на одной проблеме устойчивости органических форм и в особенности на факторах эволюции, обусловливающих развитие этой устойчивости. Эта проблема, совершенно еще не разработанная, привлекла мое внимание в связи с предпринятым мною анализом механизма естественного отбора в различных условиях внешней среды. Результатом этой работы явилась теория стабилизирующего отбора, впервые изложенная для частного случая в книгах «Организм как целое» (1938 и 1942) и «Пути и закономерности эволюционного процесса» (1939), расширенная в специальных статьях (Журнал общей биологии, 1941, 1944, 1945) и обстоятельно изложенная в связи с рассмотрением общих основ эволюции в книге «Факторы эволюции» (1946).

ПОДВИЖНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ

Органические формы одновременно и крайне устойчивы, и в высшей степени подвижны. Как устойчивость, так и подвижность форм выявляются в различных масштабах времени. Общие основы организации удерживаются обычно с удивительным постоянством в течение длительных геологических периодов, и иногда даже детали строения некоторых растений и животных сохраняются почти неизменными с самого начала геологической истории (иногда с кембрия) и доныне. Таковы многочисленные «консервативные» виды плеченогих (брахиопод), низших ракообразных, пластинчатожаберных и брюхоногих моллюсков. Наряду с этим палеонтология дает нам примеры чрезвычайно быстрой эволюции, почти внезапного появления новых форм. Многие современные виды образовались лишь в послеледниковое время, а некоторые формы перестраиваются как бы на наших глазах. В частности, не только породы домашних животных и сорта культивируемых растений созданы человеком в течение последних тысячелетий, столетий и даже десятилетий своего существования, но и многочисленные растения-сорняки и животные — вредители хозяйственных культур (особенно насекомые) развились естественным путем и приспособились к условиям, создаваемым человеком за короткий период существования этих культур. Можно говорить, с одной стороны, об исторической устойчивости, о консерватизме — «иммобильности» и, с другой стороны, об эволюционной подвижности, пластичности — «мобильности» организмов.

Устойчивость и подвижность органических форм находят свое выражение и в течение короткого времени жизни каждой отдельной особи. Из яйца любого животного, из споры или семени любого растения развивается всегда совершенно определенный организм, в котором не трудно узнать представителя именно того вида животных или растений, от которого получено яйцо, спора или семя. Развивающийся организм поразительно устойчив в своем формообразовании, несмотря на наличие многих колебаний во внешних факторах. Вместе с тем, каждая особь формируется все же по-своему и в зависимости от условий окружающей среды принимает то или иное конкретное оформление (ограниченное пределами характерной для данного вида «нормы реакций»). Можно говорить об известной устойчивости — «стабильности» процессов формообразования

и об их более или менее значительной изменчивости — «лабильности». Наконец, можно говорить еще и об устойчивости и подвижности органических структур в микромасштабах времени. Это касается уже физиологических процессов, которых мы в настоящей статье касаться не будем.

Мы здесь разберем вопрос о значении и происхождении одних лишь первых форм устойчивости и подвижности органических структур.

Подвижность органических форм является необходимой основой их изменяемости во времени. Приобретение новых структур и новых форм реагирования представляет существенный элемент всех эволюционных преобразований. Устойчивость органических форм обеспечивает им успех в борьбе за существование в определенных экологических условиях и возможность их размножения (т. е. увеличение числа особей данной популяции, данного вида).

Подвижность и устойчивость органических форм проявляются, как уже сказано, в разных масштабах времени, в разных амплитудах и в качественно различных выражениях. Эти различия определяются положением организма в окружающей его среде, его борьбой за существование и, следовательно, теми направлениями, которые принимает в данное время естественный отбор. Многообразие форм борьбы за существование, одновременно сосуществующих и сменяющих друг друга во времени и в пространстве, связано с различными, иногда противоречивыми направлениями естественного отбора, характер и интенсивность которого меняются в различные сезоны, в разных местностях и в различные эпохи.

ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ФАКТОРАХ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

В борьбе за свое существование любой организм (как самостоятельная особь) связан со всей окружающей его природой и в то же время противостоит ей. Можно говорить о единстве природы и о противоположностях в системе организм — среда. Конечно, под средой мы подразумеваем в этом случае все окружающее, вступающее в те или иные взаимоотношения с данным организмом (особью), т. е. не только все

прочие организмы данного биоценоза, но и прочие особи того же вида организмов.[1]

В процессе эволюции изменяется, однако, не отдельная особь какого-либо вида организмов, а целые популяции скрещивающихся между собою особей и даже весь вид в целом. В борьбе за существование каждый вид связан многочисленными взаимоотношениями и в то же время противостоит всем другим видам организмов, с которыми он прямо или косвенно сталкивается в данном биоценозе (межвидовая борьба). Однако эволюция вида в целом определяется изменением его состава из различных особей, которые с бо́льшим или меньшим успехом борются за свое существование (т. е. добывают жизненные средства, размножаются, защищаются от хищников, паразитов и вредных влияний неорганической природы и защищают свое потомство). В борьбе за существование отдельные особи соревнуются, следовательно, между собой, и только в этом соревновании, т. е. во *внутривидовой борьбе*, решается вопрос о переживании и размножении более приспособленных особей, об изменении состава популяции и преобразовании структуры всего вида в целом. Межвидовые соотношения играют существенную роль в факторах внешней среды, однако эволюция организма как представителя вида (группы) осуществляется всегда лишь на основе внутривидового (внутригруппового) соревнования.

Основное значение в борьбе за существование имеют биотические взаимосвязи и в особенности пищевые соотношения. Эти биотические факторы среды не остаются постоянными. В любом биоценозе происходят как вековые изменения его состава, так и периодические колебания численности составляющих его форм. Наблюдаются как сезонные, так и многочисленные случайные изменения, связанные с особенностями размножения, интенсивностью истребления, кормовыми условиями, миграциями и т. п. Соответственно условия борьбы за существование любого вида организмов, а следовательно, и интенсивность и направление естественного отбора, меняются во времени. Далеко не безразличны также зависимости

---

[1] Иногда под внешней средой понимают только неорганическую природу. Это в корне неверно, так как такой среды реально (для организмов) не существует и это понятие представляет лишь результат абстракции. Имеется единая среда обитания, специфическая для данных видов и характеризующаяся сложным комплексом биотических и абиотических факторов.

организмов в их развитии и жизнедеятельности от факторов неорганической природы, т. е. от климата, состава и строения почвы, состава воды, ее движений и т. п.

Все эти факторы, и в особенности элементы климата, отличаются известной неустойчивостью. Они подвергаются определенным периодическим (суточным, сезонным) изменениям, а также многочисленным колебаниям случайного характера. В различных климатических и микроклиматических зонах обычный масштаб этих изменений в высшей степени различен. Приспособление организмов к этим изменениям в факторах неорганической природы осложняется не только их непостоянством для данного биотопа, но и более или менее значительной тенденцией организмов к перемещению и расселению. Перемещение организмов из одной климатической зоны в другую может иметь характер пассивного переноса (например, семян — ветром) или активной миграции. Эти перемещения могут иметь периодический (суточный, сезонный) характер, могут быть вынуждены в известных условиях (перенаселение, голод, засуха) или обусловлены многочисленными причинами случайного характера.

Во всех этих случаях условия борьбы за существование чрезвычайно усложняются. Организм в своем историческом развитии отвечает на неблагоприятные изменения во внешних факторах приспособлениями различного порядка:

1) пассивной защитой, т. е. выработкой средств изоляции от данных вредных влияний, — образование цист, анабиоз, спячка и т. п.;

2) выработкой способности к индивидуальным приспособлениям развивающегося организма, с максимальным использованием данных внешних факторов (температуры, влажности, света), т. е. адаптивной модификацией (лабилизацией формообразования);

3) развитием сложной системы регуляций, повышающих устойчивость развивающегося организма против влияния изменений в факторах внешней среды (стабилизация формообразования);

4) развитием средств активной защиты через приспособительное поведение, позволяющее избегнуть данных вредных влияний (миграции, зарывание в землю и т. п.).

Средства пассивной и активной защиты организмов достаточно известны, и мы на этом здесь не останавливаемся. Обратим лишь внимание на соотношения между способностью к адаптивным моди-

фикациям, т. е. индивидуальной приспособляемостью или лабильностью форм (2), и регуляторным формообразованием (3) или стабильностью органических форм.

Развитие этих особенностей обусловлено специфическими соотношениями с факторами внешней среды, которые связаны с двумя формами естественного отбора, а именно: 1) с ведущей формой отбора (в данном случае отбор на способность к приспособительным модификациям) и 2) со стабилизирующей формой его.

ФОРМЫ РЕАГИРОВАНИЯ ОРГАНИЗМА НА ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВНЕШНИХ ФАКТОРАХ

(РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ)

Принято считать, что влияние неорганических факторов внешней среды сказывается главным образом на растительных организмах. Это верно лишь отчасти. Мало подвижные и сидячие животные, а также эмбриональные и личиночные стадии развития большинства животных подвергаются этим влияниям почти в той же мере, как и растения. С другой стороны (и это в данной связи имеет для нас особое значение), животные отличаются от растений главным образом лишь формами реагирования на изменения факторов неорганической природы. Растения отвечают на изменения температуры, освещения и влажности совершенно отчетливо наблюдаемыми изменениями в росте и внешнем облике, а также в величине и форме отдельных органов (кроме того, конечно, и в более тонком строении тканей и в физиологических отправлениях). У животных такие изменения обычно мало заметны. Однако они отвечают на те же изменения весьма существенной приспособительной (регуляторной) перестройкой всей своей жизнедеятельности. Эта перестройка выражается как в общефизиологических функциях, так и в форме поведения особей. Приспособительные изменения не являются изначальными свойствами живого, они имеют свою историю. В процессе эволюции они установились именно в связи с непосредственным влиянием внешних и, в частности, абиотических факторов.

Неорганические факторы отличаются значительным непостоянством, в особенности на суше, в воздушной среде. В почве и в воде амплитуда их колебаний менее значительна. Еще большим постоянством отличаются

условия существования в морях и в особенности на больших глубинах. Эти различия дополняются, конечно, специфическими особенностями той или иной климатической зоны или того или иного местообитания (микроклимат).

Изменения неорганических факторов внешней среды могут обладать разной длительностью: это могут быть вековые изменения климата (в широком смысле), связанные с монотонными на известном геологическом отрезке времени изменениями его факторов, или же более кратковременные уклонения периодического или случайного характера.

Вековые изменения в факторах внешней среды связаны с соответствующими приспособлениями всего органического мира. Изменение климата всегда ведет к перераспределению растительного покрова данной части земной коры, а это, в свою очередь, влечет за собой перестройку соответствующей фауны. Изменение биотических соотношений определяет затем дальнейшую эволюцию представителей данной флоры и фауны. Все эти изменения осуществляются в результате ведущей формы естественного отбора.

Кратковременные уклонения периодического характера, в особенности сезонные изменения, ведут к развитию различных приспособлений, позволяющих организму максимально использовать благоприятные для вегетации сезоны и, по меньшей мере, пережить неблагоприятные, т. е. избегнуть вредных влияний их. Это достигается приспособлением всего жизненного цикла к естественным сезонам. В простейшем случае вся жизнь ограничивается лишь одним, благоприятным для вегетации сезоном. Неблагоприятный сезон переживают лишь более или менее защищенные яйца, почечки, корневища и т. п. В этих случаях формы приспособления организма вырабатываются также в процессе ведущей формы естественного отбора. Температура, освещение, влажность, концентрация солей и другие подобные факторы испытывают также закономерные изменения в пределах сезона вегетации. Результатом приспособления к этим изменениям является *сезонный полиморфизм*. Экспериментальные исследования обыкновенно вскрывают в этом случае детерминирующее влияние внешнего фактора (температуры, освещения и т. п.) на последующее формообразование, т. е. *способность организма к адаптивной модификации*. Такая способность является специфической наследственной особенностью данного вида организмов и вырабатывается, как и вся организация, в процессе его эволюции в опре-

деленных условиях существования, характеризуемых сезонными изменениями во внешних факторах.

Вопрос о возникновении способности к приспособительным реакциям решается в той же плоскости, что и вопрос о возникновении любых других признаков и реакций живых организмов. Общее решение этих вопросов было дано Дарвином в его теории естественного отбора. В случае эволюции способности к приспособительным реакциям речь идет об отборе особей с наиболее в данной жизненной обстановке выгодными формами реагирования. Материалом для отбора являются многочисленные индивидуальные уклонения, строящиеся на мутациях и их комбинациях. Естественно, что любая мутация отличается от исходной, «дикой» нормы не только своими дефинитивными «признаками», но и процессами онтогенеза, ведущими к их развитию. Это предполагает, что любая мутация отличается от исходной нормы и своими формообразовательными реакциями как на внутренние, так и на внешние факторы. Реакции, выражающиеся в онтогенезе новых признаков мутантов, не имеют приспособительного значения, так же как и дефинитивное выражение мутаций не является само по себе приспособлением. Наоборот, огромное большинство мутаций оказывается неблагоприятным для жизни или размножения особи. Это относится в равной мере и к различным выражениям этих мутаций, приобретаемым ими в различных условиях индивидуального развития мутантных особей. Первичные формы реагирования на изменения в факторах внешней среды имеют в лучшем случае индифферентный характер. Однако все формы выражения мутаций (в разных условиях среды) могут изменяться путем комбинирования (в половом процессе) с другими мутациями, а следовательно этим же путем могут изменяться и формы реагирования этих мутаций на различные факторы внешней среды. Под непрерывным действием естественного отбора образуются все новые комбинации, обладающие более благоприятными выражениями в различных, реально встречающихся условиях внешней среды (температуры, влажности, освещения, солености и т. п.). Этим самым вырабатываются все более благоприятные вторичные формы реагирования на обычные, реально встречающиеся изменения в факторах внешней среды. Путем естественного отбора наиболее благоприятных форм реагирования создается, таким образом, способность организма к различным приспособительным, в том числе и формообразовательным реакциям (т. е. к адаптивным модификациям).

Выработка способности организма к адаптивным модификациям происходит именно под влиянием ведущей формы естественного отбора (отбор наиболее в данных условиях выгодных форм реагирования). Экспериментальная модель выработки организмом приспособительного реагирования была создана М. Камшиловым, показавшим возможность полного изменения первоначальных форм реагирования в результате искусственного отбора.

Способность к адаптивным модификациям развивается, однако, не только в связи с сезонными изменениями во внешних факторах.

Большое значение в эволюции имеют и иные изменения, которые встречаются вполне закономерно и с большой частотой. Такие изменения могут иметь характер случайных и кратковременных (например, метеорологические явления), но могут зависеть и от активного или пассивного перемещения самого организма в иные (локальные) условия внешней среды, где он может найти длительное пребывание. В этих случаях способность к адаптивным модификациям может иметь большое значение для поддержания существования вида в измененной среде (обычно — если изменение оказывается для отдельной особи длительным или постоянным, как, например, перенос и прорастание семян на иной почве). В других случаях еще большее значение приобретает выработка регуляторных механизмов, повышающих устойчивость по отношению к изменениям во внешних факторах (главным образом, кратковременным изменениям случайного характера). В первом случае можно говорить о л а б и л ь н ы х формах, во втором — о с т а б и л ь н ы х.

При наличии большого количества случайных влияний, которым подвергаются организмы, в особенности на ранних стадиях индивидуального развития, они приобретают большое значение как факторы, в значительной мере определяющие пути эволюционного процесса. В этих случаях на первое место выдвигается то выражение естественного отбора, которое я назвал с т а б и л и з и р у ю щ и м.

МЕХАНИЗМ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ОТБОРА

Определение естественного отбора как отбора особей, наиболее приспособленных к данным условиям существования, основанного на элиминации особей, менее приспособленных, является общей формулировкой, охватывающей весь процесс отбора в целом, а следовательно и его частные

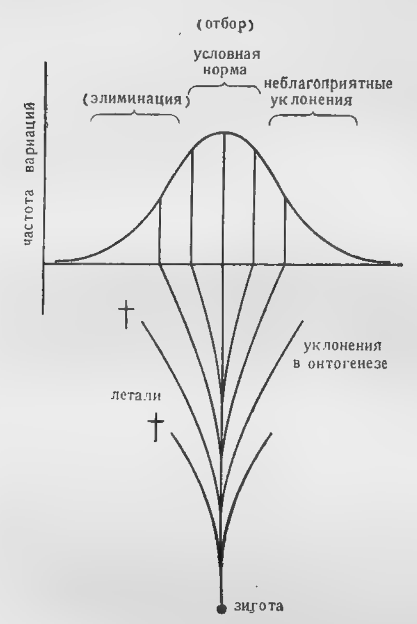
формы. Процесс прогрессивной эволюции связан с развитием и сменой приспособлений и определяется изменениями в условиях существования, вносимыми как вековыми изменениями в неорганической природе (климатом), так и, в особенности, постоянным преобразованием биотических соотношений с другими организмами. Преобразование органических форм осуществляется на основе их наследственной «неопределенной» изменчивости, которая вводится в известное русло естественным отбором. Последний выступает здесь совершенно четко в виде направляющего, творческого фактора эволюции. Я говорю в этих случаях о ведущей роли естественного отбора или о ведущей форме естественного отбора. Однако и в тех случаях, когда значительных вековых изменений в неорганической природе (на данном отрезке времени) не происходит и биотическая обстановка, подвергаясь периодическим и случайным изменениям, остается в общем постоянной, естественный отбор всегда продолжается. Даже в том случае, если мы не видим значительного преобразования органических форм, можно установить определенное влияние отбора по меньшей мере на процессы индивидуального развития. Такой отбор я назвал стабилизирующим.

Можно дать следующие определения ведущей и стабилизирующей формам естественного отбора:

1. Ведущая (движущая) форма отбора реализуется на основе селекционного преимущества (в изменениях, а также в закономерно меняющихся условиях внешней среды) определенных уклонений организации перед нормой, установившейся в прежних условиях существования. Она связана с частичной элиминацией прежней нормы и установлением новой.

2. Стабилизирующая форма отбора осуществляется на основе селекционного преимущества (в известных, особенно колеблющихся условиях) нормальной организации перед уклонениями от нормы. Она связана с элиминацией большинства уклонений и выработкой более устойчивых механизмов нормального формообразования.

Обе формы отбора едины в своем проявлении, и, быть может, лучше было бы говорить лишь о разных выражениях естественного отбора. Однако то же самое можно сказать и относительно всех других форм естественного отбора. Их обособление представляет результат абстракции и производится нами для удобства анализа результатов естественного отбора, получающего разные выражения в различных условиях существования.



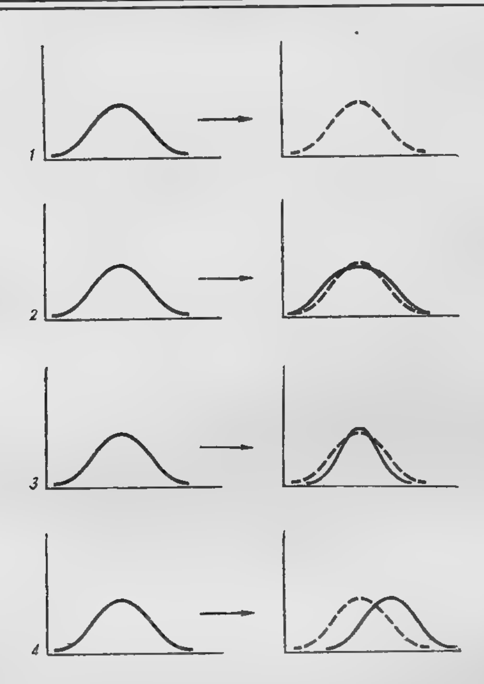
Фиг. 1. Механизм действия стабилизирующего отбора на примере обычной вариационной кривой. Элиминация всех уклонений онтогенеза (показанных под абсциссой), ведущих к развитию крайних вариантов, связана с сохранением (отбором) и накоплением малых мутаций в ряду поколений, фенотипическое выражение которых (мутаций) при нормальных условиях развития не выходит за пределы устанавливающейся в данное время условной нормы

Следующие схемы позволят нам уточнить понимание этих выражений естественного отбора.

При учете изменчивости факторов неорганической среды и обоих выражений естественного отбора наше представление о механизме эволюционного процесса значительно усложняется.

Стабилизирующий отбор протекает в различных условиях среды по-разному. Соответственно и эволюция организмов и ее результат приобретают в отдельных случаях свой специфический характер.

1. В условиях относительного постоянства внешних факторов значение модификационной изменчивости падает. Внешние факторы не дают повода для нарушения нормального хода индивидуального развития. Поэтому огромное большинство фактически наблюдаемых уклонений от обычной нормы приходится на долю наследственных изменений, т. е. мутаций и их разнообразных комбинаций. В борьбе за существование гибнут более ярко выраженные уклонения. Таким образом, обычная элиминация уклонений от нормы приходится в основном



Фиг. 2. Различия между результатами стабилизирующей и ведущей форм отбора: *1* — стабилизирующий отбор при неизменных условиях, форма и положение вариационной кривой не изменяются; *2* — ослабление стабилизирующего отбора, вариационная кривая расширяется; *3* — усиление стабилизирующего отбора (острая элиминация), изменчивость уменьшается; *4* — ведущая форма отбора при монотонном изменении соотношений между организмом и средой; вариационная кривая сдвигается в определенном направлении

на мутации и их комбинации. При известной остроте этой элиминации (в особенности при внутригрупповом соревновании) это приведет к значительному ослаблению процессов накопления мутаций, к вытеснению более мутабильных линий и общему сокращению резерва наследственной изменчивости в популяции. Данный вид организмов приобретает филогенетическую устойчивость форм, или «консерватизм», длящийся до тех пор, пока сохраняется то постоянство внешних условий, которое породило данную устойчивость («иммобильность»). Такой процесс утраты эволюционной пластичности



Фиг. 3. Схема, показывающая типичные соотношения между ведущей и стабилизирующей формами отбора в эволюции некоторого признака

1 — исходная вариационная кривая; 2 — первая фаза, характеризующаяся мобилизацией имеющегося резерва изменчивости и расширением вариационной кривой в благоприятствуемом направлении; 3 — вторая фаза, обнаруживающая сдвиг кривой под влиянием ведущей формы отбора; 4 — третья, завершающая фаза, связанная со стабилизацией новой нормы и выражающаяся в новом сужении вариационной кривой

форм я называю «иммобилизацией». Он является естественным результатом действия стабилизирующей формы отбора в условиях постоянства внешних факторов. Примерами иммобилизации форм могут служить многие губки, коралловые полипы, брахиоподы, пластинчатожаберные и брюхоногие моллюски, а также низшие ракообразные, живущие в одних и тех же условиях пассивной защиты и питания планктоном, детритом или водорослями и сохранившие свою организацию мало измененной с древнейших времен палеозоя.

В лабораторных условиях иммобилизация наблюдается на культурах «дикой» линии (Флорида) дрозофилы, изменчивость которой стала, вследствие систематической элиминации всех заметных мутаций, значительно ниже природных линий дрозофилы. Иммобилизация происходит и при стандартизации выведенных человеком пород и сортов.

2. В условиях наличия закономерных изменений в факторах внешней среды значение модификационной изменчивости возрастает. Под закономерными изменениями мы разумеем периодические и в особенности сезон-

ные изменения в освещении, температуре и влажности, а также локальные изменения, связанные с закономерной миграцией или пассивным переносом организма в иные условия. Во всех этих случаях вырабатываются те или иные приспособления, позволяющие организму развиваться, жить и размножаться в различных условиях существования. У высших животных имеются высоко развитая система физиологических регуляций основных жизненных процессов и различные типы приспособительного поведения, позволяющие им переносить обычные изменения во внешних факторах или избегать влияния более значительных уклонений. Индивидуальная жизнь низших животных и многих растений нередко ограничивается лишь одним благоприятным сезоном и строго определенными местообитаниями. В других случаях широко развитая способность к адаптивной модификации позволяет растению или животному с одинаковой успешностью развиваться и созревать в различные сезоны или в различных локальных условиях почвы, климата, солености и течения воды и т. п. Однако в разных условиях развивающийся организм получает различное оформление. Стабилизирующий отбор будет в этом случае осуществляться не в пользу одной «нормы», а в пользу различных «адаптивных норм», отвечающих тем сезонным условиям, в которых организм фактически развивается, и некоторым локальным условиям, в которые он систематически попадает (например, при разносе семян ветром или животными). Тем самым будет отбираться и механизм индивидуального развития, наиболее обеспечивающий адэкватное оформление организма, в зависимости от наличных интенсивностей в факторах внешней среды. Развитие, зависимое от внешних факторов, принимает ярко приспособительный характер.

Все внешние факторы обладают, однако, известной неустойчивостью. Они подвержены многим кратковременным колебаниям случайного характера (освещение, температура, влажность, соленость воды). В случае зависимого от этих факторов развития организма это вызовет и множество уклонений в формообразовании, как ответ на все эти случайные колебания в интенсивности внешних факторов. Такие уклонения нарушат приспособленность организма к средним интенсивностям факторов данного сезона или данного местообитания. При возвращении внешних условий к норме уклоняющиеся особи окажутся в неблагоприятном положении и погибнут. Таким образом, будут систематически элиминироваться особи, слишком поспешно реагирующие на кратковременные уклонения

во внешних факторах, а следовательно и вообще на особенно мало устойчивые факторы. Стабилизирующий отбор будет благоприятствовать более устойчивым особям, которые реагируют не столь поспешно и развитие которых зависит главным образом от более устойчивых факторов внешней среды (например, не колеблющаяся температура и не интенсивность освещения, а длительность светового дня для сезонных форм). Это предполагает возникновение сложного регуляторного аппарата, обеспечивающего развитие двух или нескольких «адаптивных норм», независимо от наличия случайных колебаний во внешних факторах. Такое развитие я называю «авторегуляторным». Оно устанавливается под влиянием стабилизирующей формы отбора в нескольких типичных (сезонных, локальных) для данного вида условиях существования. К формам с авторегуляторным развитием относятся все высшие растения и большинство животных. Выделение нескольких адаптивных норм наблюдается в особенности у растений. Многие растения встречаются в виде лесной и луговой формы, долинной и горной или водной и воздушной.

Механизм авторегуляторного развития связан в своем возникновении с установлением пороговых уровней «нормального» реагирования на факторы внешней среды. Все эти очень важные вопросы не могут быть достаточно разобраны в рамках настоящей статьи.

3. В условиях преобладающего значения кратковременных колебаний случайного характера интенсивность стабилизирующего отбора возрастает. Животные, способные к активным перемещениям, держатся обычно в определенных, свойственных им местообитаниях, но могут их менять на другие, им равноценные. Нередко их жизнь определяется годами, т. е. они переживают смену многих сезонов. Индивидуальная приспособленность формообразования к физическим условиям одного определенного сезона или одной определенной локальности (при подвижности животного) теряет свое значение. Тем более возрастает значение физиологической приспособляемости и приспособительного поведения. Это связано с функциональными изменениями (упражнение и неупражнение органов), которые неизбежно сказываются и на позднейших процессах формообразования, а следовательно и на морфологическом строении животного. Вместе с тем, поведение и функциональные изменения в отдельных его органах (прежде всего в органах движения и захватывания пищи) позволяют животному приспособляться не только к сезонным и локальным

особенностям факторов неорганической среды, но и к меняющимся условиям биотического окружения.

Функциональная лабильность организации приобретает поэтому очень большое значение, в особенности для мало специализированных и более подвижных представителей высших животных. Функциональная приспособляемость имеет преобладающее значение, конечно, лишь в период активной жизни сформированного животного, когда слагаются его привычки в определенной жизненной обстановке (иногда при участии воспитания со стороны родителей или вообще взрослых особей данного стада). Лабильные основы всей организации создаются ранее, без участия этих факторов. Все случайные влияния в период развития этих основ организации могут вызвать лишь вредные уклонения. Приспособительного значения они не могут иметь. Поэтому элиминация всех уклонений от «нормы» приобретает более жесткий характер. Стабилизирующий отбор благоприятствует особям с наиболее устойчивым аппаратом индивидуального развития. С одной стороны, развивающийся организм ставится в условия максимальной защиты от внешних влияний — механических воздействий, колебаний температуры, влажности (оболочки яиц, насиживание, живорождение); с другой стороны, формообразовательные процессы становятся в значительной мере независимыми от возможных все же, но совершенно случайных изменений во внешних факторах. Развитие становится все более стабильным. Регуляторные системы организма делают его практически независимым от случайных колебаний в интенсивности факторов внешней среды. Морфогенетические процессы приобретают автономный характер. Ход индивидуального развития определяется внутренними факторами. Роль внешних факторов снижается до уровня необходимых условий развития. Стабилизирующий отбор приводит при этих условиях (преобладание случайных уклонений во внешних факторах) к максимальной автономизации индивидуального развития. Можно говорить об автономном развитии высших животных. Это развитие, освобождая эмбриональный организм от различных случайных влияний (колеблющихся факторов среды), не исключает последующей индивидуальной (главным образом функциональной) приспособляемости молодого животного к факторам, приобретающим для данной особи длительное значение. Прогрессивная автономизация развития может быть прослежена на некоторых органах позвоночных животных.

62*

Экспериментальная модель такой автономизации была создана М. Камшиловым на некоторых мутациях дрозофилы с лабильным выражением (eyeless). Отбором в условиях колеблющейся влажности была получена линия, у которой развитие глаз протекает независимо от изменений во влажности питательного субстрата.

СТАБИЛИЗАЦИЯ НОРМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ

1. Действие стабилизирующего отбора (на «жизнеспособность») ясно устанавливается наблюдениями над культурами различных мутаций дрозофилы. Если эти мутации мало жизнеспособны, то постоянная гибель особей с наибольшим выражением мутаций приводит постепенно к погашению этих выражений и восстановлению нормального, «дикого» фенотипа. Скрещивание особей из таких линий мутаций, потерявших свое выражение, с особями, взятыми из других линий дрозофилы, ведет к восстановлению выражения неблагоприятной мутации. Это показывает, что мутация не угасла, а перешла в скрытое состояние вследствие создания таких комбинаций малых мутаций (модификаторов), которые подавляют ее выражение. Отбор в пользу жизнеспособной «нормы» действовал, следовательно, на основе перекомбинирования известного запаса малых мутаций, всегда имеющихся в любой культуре.

2. Генетический анализ природных популяций дрозофилы вскрывает под однородной внешностью нормального, «дикого» типа множество мутаций, выражение которых, как правило, подавлено в данных их комбинациях. Постоянная элиминация особей, уклоняющихся по своему фенотипу от нормы, приводит к созданию комбинаций, не выходящих за пределы этой нормы.

3. Эксперименты Турессона и других ботаников показывают, что за однородной внешностью местных популяций (экотипов) определенных видов растений скрывается нередко исключительная гетерогенность. При переносе растений известного экотипа в другие условия, которые можно считать исходными, эта гетерогенность становится явной и показывает большие различия в реагировании на эти условия. Некоторые особи стойко сохраняют характерные особенности экотипа, другие сильно изменяются. Это показывает, что особенности экотипа покоятся, очевидно, на однородных модификационных изменениях исходного материала,

но что эти изменения в значительной части особей дополняются сходными мутациями и развиваются тогда независимо от изменений в локальных факторах. Такие особи обладают, следовательно, преимуществами большей стабильности. Они сохраняют свои особенности и в измененных условиях.

4. Многие климатические формы обнаруживают такую же гетерогенность состава и, вместе с тем, по своему фенотипу сходны с известными модификациями особей, взятых из других климатических зон. Северный лен-долгунец отличается большей высотой и меньшим числом стеблей и коробочек, чем южный лен-кудряш. Это — наследственные различия, частично сохраняющиеся и при культуре обеих форм в идентичных условиях климата. Однако на юге лен-долгунец становится ниже, а число его стеблей и коробочек увеличивается. Наоборот, на севере лен-кудряш до известной степени приближается к долгунцу. Это показывает, что наследственные различия между климатическими факторами идут в таком же направлении, как и модификационные изменения, устанавливающиеся непосредственно под влиянием факторов климата. На фоне первичных модификационных изменений при перемещении культуры льна происходил, очевидно, стабилизирующий отбор особей, приспособленных к данной климатической зоне. Этот отбор привел к установлению сходных, т. е. «параллельных» наследственных различий между климатическими формами льна.

Сон-прострел (*Anemone pulsatilla*) имеет западную расу с разбросанными и мелко рассеченными листьями и поникшими цветами. У восточной расы листья приподняты, более грубо рассечены; цветы стоячие. Это — наследственные различия, сохраняющиеся и при культуре в идентичных условиях. При гибридизации эти признаки типично расщепляются в потомстве (Циммерман). Однако эти наследственные различия перекрываются сходными модификационными различиями, которые могут быть получены и в опыте при изменении интенсивности освещения. Так, западная раса дает при культивировании на ярком свете грубо рассеченные листья, испаряющие меньше воды. Эти изменения имеют приспособительный характер (соответственно меньшей облачности Восточной Европы). И здесь, очевидно, стабилизация адаптивных норм для дождливой Западной и засушливой Восточной Европы произошла на основе первоначальной адаптивной модификации, сопровождавшей расселение этой формы в

послеледниковое время. Стабилизирующий отбор привел к выработке стойких наследственных различий, сходных с одновременно наблюдаемыми модификационными изменениями.

Такой же характер имеют, повидимому, и известные климатические различия у животных (правила Бергмана, Алена и др.).

5. Льняной рыжик *Camelina linicola* произошел, по Н. В. Цингеру, от ярового рыжика *Camelina glabrata*, занесенного в посевы льна. В густых посевах, и в частности в посевах льна, *Camelina glabrata* дает сходную модификацию: высокий, мало ветвящийся стебель, длинные междоузлия, узкие листья. Соответствующие признаки *Camelina linicola* вполне стабилизировались за сравнительно короткое время ведения культуры льна — они развиваются и вне посевов льна, и в редких посадках без существенных изменений.

6. Многие горные формы растений отличаются от их ближайших долинных родственников целым рядом приспособительных признаков (карликовый рост, опушение, глубокий корень), которые развиваются как модификация и у долинных форм при их переносе в горы. Однако у горных форм они нередко оказываются вполне стабильными, т. е. сохраняются мало измененными и при переносе в долину.

То же самое касается иногда и животных. Предкавказские лесные мыши *Apodemus sylvaticus ciscaucasicus* дают при перенесении в горы типичную реакцию, состоящую в увеличении числа эритроцитов и содержания гемоглобина в крови. Однако горные формы того же вида при перенесении в долину не дают обратной реакции. Повышенное содержание гемоглобина оказывается у них стабильным признаком (Н. Калабухов).

7. Наравне со стабилизацией признаков, приобретающих в данных условиях развития и существования постоянное значение, иногда надолго еще удерживаются следы прежней способности к определенным реакциям (модификациям), по крайней мере в некоторых специфических условиях. Так, при прорастании зимних почек типичного водяного растения *Myriophyllum verticillatum* в воздушной среде на верхних частях стебля развиваются цельнокрайние листья, которые, очевидно, были свойственны исходной наземной форме (Н. Вакуленко). Очень часто организмы, перенесенные в исходные условия существования предковых форм, дают частичный возврат к фенотипу этих форм. При содержании пустын-

ного ткача *Munia flaviprymna* в условиях влажного климата у него развивается более темная пигментация, приближающая его по окраске к прибрежной форме ткача *Munia castancithorax*, которая является, очевидно, исходной.

8. Многие растения засушливых климатических зон обладают листообразными органами, развивающимися на месте стеблей или черешков (филлокладии и филлодии). У сеянцев таких растений имеются иногда настоящие листья, которые позднее спадают и замещаются развивающимися затем филлокладиями или филлодиями. Это показывает, что растения обладали когда-то обыкновенными листьями, но потом их утратили. Наблюдения над некоторыми растениями континентального климата показывают, как произошла у них утрата листьев. При засухе листья часто вянут и затем опадают. В жарких странах в засушливое время года наблюдается иногда вполне закономерный листопад, являющийся приспособлением, предохраняющим растение от потери воды вследствие испарения на листьях и невозможности пополнения ее запаса через корневую систему. При экспериментальном удалении листьев у многих растений (бобы, сирень, шиповник, белая акация и др.) сильнее разрастаются ассимиляционные ткани в зеленых частях растений, увеличивается количество хлорофилловых зерен в этих тканях, а также число устьиц на поверхности стеблей и сохранившихся черешков листьев. Такая компенсация имеет приспособительный характер и приобретает большое значение у растений, сбрасывающих листья во время засухи. В этих случаях черешки и стебли функционально замещают опавшие листья. Растение остается иногда безлистным на довольно длительный период вегетации. Некоторые ксерофитные кустарники напоминают тогда безлистную зеленую метлу (некоторые спаржевые и многие санталовые и мотыльковые, например ракитник и бобровник). В дальнейшем процессе эволюции зеленые стебли и черешки увеличивают ассимилирующую поверхность и дают начало вторичным листообразным органам (филлокладиям у иглиц или филлодиям у многих акаций). Развитие вторичных листообразных органов становится понятным только при анализе всего пути эволюции. Существенным этапом последнего была временная утрата листьев и приспособительная модификация зеленых тканей стеблей и черешков. Эти модификации стабилизировались как приобретения постоянного значения и дополнились дальнейшими изменениями новых ассимиляторных органов.

9. Мощное развитие жевательной и височной мышц у хищных млекопитающих сопровождалось прогрессивным развитием челюстей, венечного отростка нижней челюсти, скуловой дуги и сагитального гребня черепа. Вряд ли можно сомневаться в том, что ведущим в этом процессе эволюции было изменение инстинктов животного, переходившего от питания насекомыми к добыче и использованию более крупных животных (позвоночных). Первым результатом такого перехода могла быть только усиленная тренировка челюстных мышц с ее последствиями — увеличением их массы и расширением поверхности их прикрепления на частях скелета. Экспериментальные данные показывают довольно значительный масштаб модификационных изменений. Однако в процессе эволюции должна была произойти стабилизация таких изменений (через элиминацию особей, выросших в случайно благоприятных условиях питания, что привело к недостаточному развитию челюстей и их мускулатуры) на почве индивидуальной конкуренции в добывании крупных животных. Соответственно происходила и «фиксация» новой нормы с автономным формированием более мощной мускулатуры и челюстного скелета (даже и независимо от индивидуальной нагрузки в период их роста и формирования).

10. Факты замены в процессе эволюции одних внешних факторов (например, влажности, сухости), определяющих развитие известной модификации, другими, более постоянными (интенсивность освещения, длительность светового дня), дающими ту же реакцию с большей надежностью, объясняются, очевидно, действием стабилизирующей формы естественного отбора. Иначе говоря, это происходит вследствие элиминации особей, не давших необходимой реакции из-за случайного уклонения в интенсивности определяющего внешнего фактора. Высшая степень стабилизации достигается, однако, лишь при установлении автономного развития, при котором определяющее значение переходит от внешних факторов к внутренним — наследственным. Наличие такого перехода в процессе эволюции от «зависимого» развития к автономному доказывается сравнительно-эмбриологическими исследованиями над позвоночными животными (А. А. Машковцев). Эти явления могут быть поняты лишь как результат постоянной элиминации особей со слишком лабильным реагированием на изменения во внешних факторах, т. е. как результат стабилизирующей формы естественного отбора. Здесь в особенности ясно видно значение

стабилизирующего отбора как интегрирующего фактора, создающего новые, более совершенные (автономные) формы индивидуального развития (онтогенеза).

☆

Многие из приведенных примеров показывают не только стабилизацию признаков, приобретающих постоянное значение в известной обстановке, при наличии случайных колебаний физической среды, но и наследственное преобразование организма в том же направлении, в каком произошла адаптивная модификация при перемещении организма в данные условия существования. При поверхностном подходе к этому вопросу можно было бы вывести заключение, что переход лабильного признака в стабильный означает наследственное его «фиксирование» в смысле перехода модификаций в мутации. Однако лабильные признаки не в меньшей мере обусловлены в своем развитии унаследованной нормой реакции, чем стабильные. Нельзя отождествлять стабильность с наследственностью. Суть стабилизации не в переходе или замене ненаследственной основы наследственной и не в переходе фенотипических изменений в генотипические. При стабилизации признака фенотипическое оформление организма в среднем не меняется,— сокращается лишь амплитуда его индивидуальной изменчивости. Одновременно происходит перестройка генотипа: суживается норма реагирования организма в данном направлении на внешние факторы и усложняется система внутренних факторов развития.

Лишь в одном частном случае, когда организм переносится в новые условия внешней среды, к которым он может непосредственно приспособиться (так как эти условия встречались и в прежней среде в качестве сезонных или локальных изменений), и в модифицированном виде свободно размножается, процесс стабилизации может привести к тому, что данная модификация (фенотипа) постепенно замещается подобными же (по фенотипу) наследственными изменениями. Это произойдет лишь в том случае, если при колеблющихся факторах внешней среды модификация, т. е. вновь установившийся фенотип, приобретает значение постоянного и обязательного в данных условиях приспособления. Наследственное фиксирование модификации (не признака, а его приспособительного изменения) явится тогда побочным результатом стабилизации адаптивного признака в новых условиях существования. Переход от лабильной организации (признака)

к стабильной представляет один из путей эволюции, диктуемый специфическими условиями существования — преобладанием случайных колебаний в факторах среды. Такой переход предполагает эволюцию регуляторных механизмов и корреляционных систем, определяющих индивидуальное развитие организма. Возможно, конечно, и обратное: перенос стабильного организма в более постоянные условия. Это не дает повода для утраты стабильности. Если же факторы внешней среды подвержены локальным или сезонным изменениям, то возможен отбор на способность к приспособительным реакциям и вторичная лабилизация развития.

Стабилизация нормального формообразования достигается изменением норм реагирования и, следовательно, преобразованием факторов индивидуального развития.

В рамках настоящей статьи мы не могли осветить этот вопрос с достаточной полнотой. Проблема корреляционных систем и вопрос об источниках и путях развития регуляторных механизмов хотя и находится в теснейшей связи с разобранными здесь вопросами, но требует более обстоятельного анализа, что в пределах небольшой статьи невозможно было сделать. Здесь лишь в общей форме указаны пути преобразования первичных форм индифферентного реагирования во вторичные формы приспособительного реагирования, пути замены внешних факторов приспособительного формообразования внутренними и факты установления регуляторных механизмов этого формообразования, ведущие ко все большей автономизации развития и ко все большей устойчивости органических форм.

Член-корреспондент АН СССР
Б. К. Шишкин

УЧЕНИЕ О ВИДЕ ПО РАБОТАМ В. Л. КОМАРОВА

ВВЕДЕНИЕ



онятие о виде в биологии относится к труднейшим, и несмотря на почти двухвековую давность в разрешении проблемы вида, вопрос о том, что такое вид, трактуется по-разному. Вместе с тем каждый биолог, имеющий дело с таксономическими единицами, должен так или иначе дать ответ на этот кардинальный вопрос.

Еще в начале своей научной деятельности, во «Флоре Маньчжурии» (т. I, 1901, стр. 73), В. Л. Комаров пишет: «Приступая к определению собранных мною в Маньчжурии коллекций, я не имел никакой определенной тенденции в этом направлении. Я старался только быть насколько возможно объективным и приискать для моих растений такие названия, под которыми их легко и точно могли бы узнать последующие исследователи. Однако во время работы понемногу стали выясняться некоторые положения, последовательное проведение которых могло бы, быть может, сообщить работе требуемую однородность. Я говорю о точном определении тех понятий, которые соответствуют терминам: вид, раса (subspecies), разновидность и форма».

В течение всей последующей научной деятельности В. Л. Комаров во многих своих работах часто затрагивает вопросы, касающиеся понятия вида и других таксономических категорий. Наконец, в результате почти сорокалетних наблюдений в природе, частичных экспериментальных

исследований и изучения относящейся сюда литературы он в 1940 г. публикует книгу «Учение о виде у растений». Выход в свет этой книги явился крупным событием в советской биологической литературе.

Хотя Комаров, как ботаник, ограничил свою задачу рассмотрением вида у растений, тем не менее содержащиеся в ней выводы имеют широкое биологическое значение. Необходимо отметить, что по вопросу о виде у растений на русском языке не существовало какого-либо руководства, если не считать небольшой работы Н. И. Вавилова «Линнеевский вид как система» (1931).

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

По Комарову, в период развития феодализма хотя и был накоплен большой фактический материал по изучению животных и растений, но впервые учение о виде возникло во второй половине XVII века.

Первые высказывания о понятиях рода и вида связаны с именами Рея (1686—1704), Ланга (1722) и др.

Род рассматривался как «совокупность видов, объединенных несколькими основными, очень постоянными, очень существенными родовыми признаками, и виды — как понятие второстепенное, пришедшее уже позднее и охватывающее сравнительно менее важные для жизни особенности» («Учение о виде», стр. 15).

Огромное влияние на описательные биологические науки оказал Карл Линней (1707—1778).

Линней, подобно Рею, признавал извечное создание каждого вида, но вместе с тем он допускал возможность варьирования вида и различал в некоторых случаях разновидности — varietates. Правда, позднее было установлено, что большинство так называемых «разновидностей» является в действительности самостоятельными видами и лишь очень немногие сохранили свое значение как разновидности и до настоящего времени.

Хотя Линней в основном и придерживался библейского представления о происхождении видов путем творческого акта, тем не менее он (1762) допускал, что первоначально были созданы представители отдельных групп растений, а от них уже произошли путем скрещивания и все представители царства растений, населяющие землю.

Современники Линнея и биологи первой половины XIX столетия продолжали обсуждать вопросы, связанные с понятием вида. Однако лишь Ламарку удалось ввести в понятие «вид» исторический момент и дать впервые динамику вида. Он считал, впрочем, что «признаки вида определяются прямым действием среды на растущее растение, почему и приходится считать его механистом» (там же, стр. 30).

В общем можно сказать, что во второй половине XVIII и начале XIX столетия в учении о виде господствовало положение, высказанное Линнеем: «Видов столько, сколько различных форм вначале произвело бесконечное Существо; формы эти, согласно законам размножения, произвели много новых существ, но всегда подобных им самим» (там же, стр. 17). Следовательно, для Линнея и его современников вид был понятием, с одной стороны, морфологическим, с другой — генетическим.

При изучении понятия о виде у растений В. Л. Комаров исходит в основном из воззрений на вид Ч. Дарвина.

По мнению Дарвина, разновидности всегда наследственны и представляют собою начинающиеся виды.

«Само собой разумеется,— говорит Комаров,— что для Дарвина вид — явление историческое. Он возникает, развивается, достигает полного развития, затем, при изменившихся условиях жизни, при появлении новых, более сильных конкурентов в жизненной борьбе, начинает клониться к упадку и, наконец, исчезает. Все это не как выражение общего закона природы, а как результат взаимодействия наличных сил. Показателями процветания или упадка Дарвин считает число особей, густоту населения и пр.» (там же, стр. 39).

«Вид возникает, несомненно возникает, потому что мы имеем перед собой массы видов, которые в прежние периоды не существовали,— возникает в определенной местности (вид в пространстве) и в определенное время, так как вне времени он возникнуть вообще не может (вид во времени)» (там же, стр. 40).

Оценивая дарвиновскую трактовку вида, Комаров пишет: «Таково основное *учение* Ч. Дарвина о виде подвижном, о *виде, находящемся в процессе становления*. Громадное значение имеет для нас также и учение его о процессе дивергенции или расхождения признаков, согласно которому с каждым поколением все резче становятся различия между особями общего происхождения, пока количествен-

ный рост различий не перейдет в качество, т. е. пока группы особей не превратятся в разновидности, а еще позже разновидности под действием естественного отбора не превратятся в стойкие виды». «Поэтому современная систематика обращает большое внимание на понятие гиатуса (hiatus)— зияния или пробела. Борьба за существование и естественный отбор вызывают вымирание многих форм, и благодаря этому даже самые близкие из ныне существующих видов и разновидностей могут стать обособленными, резко друг от друга отличными» (там же, стр. 42).

Согласно учению Дарвина, «промежуточные разновидности будут более подвержены случайному истреблению, а в дальнейшем процессе изменения, через посредство естественного отбора, будут побиты и заменены формами, которые они связуют, потому что последние, благодаря большей их численности, будут в целом представлять более изменений» («Происхождение видов», 1937, стр. 253).

«Промежуточные формы,— отмечает Комаров, — вымирают; крайние, более резко обособленные, выживают и кажутся нам особыми, самостоятельными видами, причем и родство между ними становится неубедительным, как будто каждый из этих отграниченных гиатусами видов не связан с другими, а существует сам по себе» («Учение о виде», стр. 42).

Комаров обращает внимание на высказывание Дарвина («Происхождение видов», стр. 148) о том, что «до настоящего времени не удалось провести ясную пограничную черту между видами и подвидами, т. е. формами, которые, по мнению некоторых натуралистов, приближаются к видам, но не вполне достигают этой степени, или между подвидами и резкими разновидностями и индивидуальными различиями. Эти различия примыкают одни к другим, нечувствительно сливаясь в один непрерывный ряд, а всякий ряд производит на ум наш впечатление действительного перехода» («Происхождение видов», стр. 148).

«Отсюда можно заключить, что вид есть более или менее резко обособленный благодаря гиатусам этап в ряду непрерывной изменчивости. Этих рядов чрезвычайно много, и каждый из них распадается на подобные этапы, за исключением тех случаев, когда данным организмом ряд заканчивается и дальнейшее развитие его остановлено изменившимися условиями существования.

Самое главное в учении Дарвина о виде то, что он убедил нас в необходимости смотреть на «особый организм» как на явление, сложившееся

исторически и связанное со всем строем окружающей его целостной природы. Мы должны мыслить вид не в отрыве от окружающей его среды, а вместе с ней, в ее строе, в связи с запросами экономики природы. Если экономика эта предъявит новые требования, то данный вид погибнет в борьбе за существование и заменится другими видами. В зависимости от экономики природы может случиться, что этими другими станут его собственные измененные потомки, чаще же, однако, виды из других филогенетических рядов, более быстро приспособившиеся к новым условиям» («Учение о виде», стр. 45).

Понятие о виде в последарвиновскую эпоху, по Комарову, «становится мало-помалу не только морфологическим, но и физиологическим, так как теперь принимаются в расчет не только наличные морфологические особенности, но и способность каждого данного растения давать определенные формы в определенных условиях жизни» (там же, стр. 46).

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РАСЫ И ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЯДЫ

Одним из важнейших понятий, связанных с понятием вида, является его географичность. За последние 50 лет в данном отношении многое выяснилось. Немалая заслуга принадлежит В. Л. Комарову. Прежде чем перейти к его взглядам, мы должны вкратце коснуться воззрений его ближайших предшественников.

В г. Томске в 1892 г. вышла в свет книга С. И. Коржинского «Флора востока Европейской России в ее систематических и географических отношениях». Коржинский исследовал вопрос о так называемых «разновидностях» или вообще о мелких систематических группах. Он указывает, что простое описание внешних признаков вида, подвида или разновидности, хотя и необходимое, не исчерпывает того, что мы называем видом, подвидом или расой. Вся сумма этих признаков есть не что иное, как следствие или внешнее выражение известной внутренней индивидуализации вида или расы. Ее можно назвать морфомой, т. е. отражением истинного существа или бионта вида. Бионт же вида характеризуется и целым рядом других специфических свойств — продолжительностью периода развития, известными реакциями на те или другие климатические условия, почвенные и т. п.

Особенное значение Коржинский придает географическому распространению как критерию для суждения о достоинстве формы. Он отмечает, что «подробное изучение географического распространения какой-нибудь формы с теми или другими признаками или даже отдельных признаков изучаемой формы дает нередко такую полную картину ее происхождения, развития и степени обособленности, что сразу решает наш вопрос, имеем ли мы перед собою отдельную расу, формирующуюся или сформированную, или перед нами лишь вариации и случайные уклонения, зависящие от местных условий развития» («Флора востока», стр. 5). И далее: «Все формы, которые при обладании известными морфологическими отличиями представляют особый ареал распространения, я считаю за отдельные самостоятельные расы (proles). Эти расы суть истинные систематические и географические единицы» (там же, стр. 23).

В. Л. Комаров пишет: «Работа С. И. Коржинского дала в свое время большой толчок нашим ботаникам, заставив их думать над каждым изучаемым ими растением и решать, какие признаки имеют значение постоянных и какие временных, а через это и подойти ближе к историческому взгляду на природу» («Учение о виде», стр. 108).

Работа С. И. Коржинского о географических расах, повидимому, осталась неизвестной австрийскому ботанику Р. Ветштейну, который через 6 лет (1898) выступил с работой «Основы географо-морфологического метода в систематике растений». Он рекомендует исследование морфологических признаков сочетать с тщательным изучением географического распространения растений.

По мнению Ветштейна, расселение того или иного вида происходит из какого-либо центра. По мере удаления от исходных точек растения все более и более подвергаются изменениям вследствие воздействия на них новых условий обитания. Образовавшиеся подвиды первоначально связаны переходными формами, в дальнейшем крайние формы становятся самостоятельными видами. На географическое распространение особенное влияние оказал ледниковый период. Ветштейн допускал прямое воздействие условий обитания на растения и таким образом примыкал к Ламарку (неоламаркизм).

Дальнейшая заслуга в разработке понятия о географических расах принадлежит В. Л. Комарову, на воззрениях которого мы и остановимся.



В. Комаров

В 1901 г. во введении к «Флоре Маньчжурии» (стр. 74—75) Комаров писал: «Ботанику-систематику нельзя уже довольствоваться констатированием наличных особенностей данного растения для отнесения его к тому или другому виду, но приходится серьезно думать над тем, не изменится ли любая подмеченная им особенность при изменении условий, в которых вырос его объект. Серьезное значение имеет теперь уже не самая форма того или другого органа, но способность определенным образом изменяться в известных определенных условиях. Благодаря этому, а также и благодаря тому, что при такой постановке вопроса очень трудно установить, достаточно ли для признания данной формы за особый вид немногих и незначительных, но зато постоянных признаков, или необходима наличность резко бросающихся в глаза особенностей, мы не можем уже довольствоваться одною только таксономическою единицею «вид», но должны были включить в наши подразделения растительного царства еще и новое понятие «раса».

«Словом «раса», — указывает Комаров, — мы обозначаем такие группы неделимых, которые, отличаясь между собою сравнительно нерезкими признаками, тем не менее твердо передают эти признаки от поколения к поколению. В то время как со словом «вид» мы соединяем преимущественно представление о внешнем виде, о форме растения, т. е. придаем ему почти исключительно морфологическое значение, хотя незаметно для нас в основе этого значения и лежат физиологические свойства, со словом «раса» мы соединяем преимущественно понятие о генетической связи между неделимыми данной группы растительных индивидуумов и о способности их твердо и неизменно передавать наследственные черты. Иначе, слову «раса» мы придаем главным образом физиологическое значение, мало заботясь о величине и значительности тех морфологических черт, которые подлежат передаче. Таким образом, в это понятие прежде всего входят представления о полной фактической невозможности перекрестного опыления между составляющими расу неделимыми, о племенной генетической между ними связи с понятием об общем происхождении их от общих родоначальников» (там же, стр. 76).

«Географически расы должны быть хорошо разграничены, так как, во-первых, каждая из них связана с определенным комплексом физико-географических условий, во-вторых, этим уничтожается возможность гибридизации, что повело бы к уничтожению племенной обособленности

каждой из них... В одной и той же местности мы можем встретить много видов одного рода, но очень редко встречаются рядом две расы одного и того же вида или два близких вида 2-го порядка.

«Таким образом, раса отличается от вида меньшей степенью морфологической обособленности, большей однородностью входящих в нее индивидуумов и замкнутостью площади ее распространения, но обладает почти одинаковой с видом стойкостью в передаче наследственных свойств.

«Разновидности и формы — понятия уже другого порядка; здесь, наоборот, стойкости в передаче наследственных свойств нет вовсе или же она наблюдается лишь в крайне слабой степени. В очень и очень многих случаях мы можем прямо подметить здесь соответствие между признаками, отличающими данное растение от типичного, и воздействием на него внешней среды» (там же, стр. 77).

То, что В. Л. Комаров называл во «Флоре Маньчжурии» расой, позднее им самим и учениками его школы рассматривается как вид. Согласно учению Дарвина, каждому виду принадлежит своя территория, свое место в экономике природы.

«Расселение любого вида на обширной площади, — пишет Комаров, — должно вести за собой обострение процесса расхождения признаков в различных частях этого обширного ареала и появление местных отличий, дальнейший рост которых с течением времени неминуемо вызывает расчленение старого вида на несколько молодых, приуроченных к новым, меньшим, но строго отграниченным ареалам. В конце концов эти малые географические виды или подвиды отличимы не только по своим морфологическим признакам, но и по занимаемой каждым из них территории» («Учение о виде», стр. 60).

Широко известен афоризм Комарова: «Вид — это морфологическая система, помноженная на географическую определенность» («Флора полуострова Камчатки», 1927, стр. 39). Под системой здесь разумеется система морфологических признаков, отличающих один вид от другого; под географической определенностью — не только географическое распространение, но и характер местообитания, а также место вида в экономике природы.

Позднее (1931) слово «система» вошло в определение вида, данное Н. И. Вавиловым: «Линнеевский вид — обособленная, сложная, подвижная

морфо-физиологическая система, связанная в своем генезисе с определенной средой и ареалом».

Отчетливо видно, что в указанных двух определениях вида слово «система» применено в различном смысле. Если под системой В. Л. Комаров подразумевает сумму морфологических признаков, то в определении Н. И. Вавилова это слово обозначает некоторую абстракцию, применимую к любой таксономической единице — роду, виду, разновидности, и поэтому подобное определение вида является неприемлемым.

Если вид и географическая раса тождественны и должны обозначаться бинарным наименованием, тогда в каком-либо полиморфном роде может появиться большое количество видов и в названии родственные отношения близких видов не будут выражены.

Еще в 1908 г., в монографии рода карагана, после тщательного исследования обширного материала, там, где ранее признавался один вид, В. Л. Комаров обнаружил наличие нескольких близких видов, занявших каждый определенное место в экономике природы. Эти близкие виды были объединены Комаровым в отдельные группы, получившие название «ряда».

В предисловии к «Флоре СССР» (т. I, 1934, стр. 2) Комаров пишет: «Род или подрод дробится сначала на ряды, а потом уже каждый род на виды. Ряд как бы заменяет собою линнеевский вид, распадающийся в процессе эволюции на современные, географически локализованные реальные виды».

В «Учении о виде у растений» Комаров говорит: «Поскольку ряд — понятие филогенетическое, а не морфологическое, метод рядов дает понятие о ходе эволюции, и оформление флор и монографий по этому методу позволяет нам восстановить тот естественный процесс расчленения организмов путем расхождения признаков, процесса приспособления к среде и пр., который лежит в основе процесса видообразования. Словом, в данном случае оформление наших работ идет навстречу дарвиновской систематике: формализм превращается в констатацию естественного процесса. А раз мы важнейший момент этого процесса, образование современных реальных видов, осветили правильно, все остальное рассматривается также под эволюционным углом зрения, и формализм наш, или номинализм, превращается в путь к познанию диалектического процесса в природе и перестает быть формализмом, или номинализмом» (стр. 62).

АПОМИКТИЧЕСКИЕ ВИДЫ, КЛОНЫ И ИНЦУХТ

Совершенно особое положение, по Комарову, занимают так называемые апомиктические виды. Последние обладают своеобразной особенностью развивать семена без оплодотворения, при этом зародыш может образоваться из любой клетки зародышевого мешка и из клеток окружающей его нуцелярной ткани. Процесс редукционного деления полностью выпадает, число хромосом остается неизменным. В настоящее время известно, что подобные апомиктические, или апогамные, виды свойственны некоторым родам, как, например, манжетка (*Alchimilla*), ястребинка (*Hieracium*), одуванчик (*Taraxacum*) и др.

Апомиксис свойствен весьма далеким друг от друга группам растений, и притом апомиктические виды в большинстве являются растениями, успешно развивающимися лишь на территориях, измененных человеком или сопутствующими ему домашними животными (на территории Ботанического сада в Ленинграде среди сорняков насчитывается, по С. В. Юзепчуку, до 17 видов апомиктичного одуванчика; на пастбищах Кавказа, Крыма и Тянь-Шаня в огромном количестве развиты виды манжеток).

Если мы апомиктическим формам придаем видовое значение и даем им бинарные наименования, то иначе обстоит дело с так называемыми клонами, чистыми линиями и инцухтными формами. Наименованием «клон» обозначается потомство одной особи, происходящее вегетативным или бесполым путем. Среди дикой природы установить наличие клонов затруднительно. При искусственном размножении клонами пользуются очень часто.

Классическим примером клонов является картофель. Как известно, он размножается путем посадки клубней или отдельных глазков (кочек). Какая-либо наследуемая особенность может быть легко закреплена посредством вегетативного размножения. Картофель имеет сотни сортов, и при вегетативном размножении сорт может быть сохранен в течение неопределенно долгого времени. Например, выведенный в Америке в половине XIX столетия сорт «ранняя роза» очень распространен в культуре и до сих пор широко используется. К вегетативному размножению часто прибегают в декоративном садоводстве, чтобы сохранить и закрепить какой-либо особый ценный сорт, так как при размножении сорта семенами особенности его могут быстро исчезнуть.

Сохранить особенности выведенного сорта возможно и применением метода чистых линий. «Для выведения чистой линии, — говорит В. Л. Комаров, — надо взять по возможности одну самоопыляющуюся особь и выводить от нее поколение за поколением, тщательно охраняя ее цветы от возможного скрещивания. В отличие от клона здесь мы имеем дело с половым размножением, но с таким его типом, при котором оба гекома одинаковы» («Учение о виде», стр. 93).

Следует сказать несколько слов о методе инцухта, который состоит в том, что некоторые растения, опыляемые ветром и даже насекомыми, путем принудительного самоопыления становятся обособленными. Как отмечено выше, ни клоны, ни чистые линии, ни инцухтированные формы не могут быть рассматриваемы как виды.

ВИД И БИОХИМИЯ

В «Учении о виде» В. Л. Комаров ставит также вопросы о биохимической гипотезе сущности вида: «Виды различны потому, что различна их химическая структура; особенности вида передаются по наследству потому, что отделяющиеся от особи гаметы имеют ту же химическую сущность, что и живые клетки особей, от которых они отделялись. Самая идея химической сущности вида и наследственной передачи его свойств очень проста, но доказательств в ее пользу не много» (стр. 161).

В. Л. подвергает критическому рассмотрению труды проф. А. В. Благовещенского и проф. С. Л. Иванова.

При образовании белковых веществ в растениях прежде всего синтезируются аминокислоты; раз образовавшись, аминокислоты, связываясь между собой пептидными связями, дают белковые молекулы или могут испытывать другие превращения, как то: метилирование, дезаминирование, декарбоксилизация, циклизация и пр.; продукты этих реакций распространены в растительном мире с известной правильностью. Особенно хорошо заметно это на алкалоидах, т. е. производных гетероциклических ароматических соединениях пиролидина, хинолина и изохинолина.

А. В. Благовещенский пишет: «Можно принять, что растительные группы, включающие алкалоиды, или стоят на концах филогенетических рядов, представляя высшую ступень развития последних (Rubiaceae, Compositae, Solanaceae, Pilocarpaceae, Buxaceae), или же они относятся

к глубоко древним формам, как бы застывшим в своем морфологическом развитии и сохранившим ряд архаических, примитивных признаков (Ephedra, Berberidaceae, Papaveraceae, Magnoliaceae, Ranunculaceae). Можно ли считать такое распределение алкалоидов случайным? Мне кажется, что ответ на этот вопрос может быть дан только отрицательный... Алкалоиды представляют собой сложные циклические системы, весьма стойкие и не способные принимать участие в обмене веществ. Накопление их в растительных клетках, повидимому, является признаком как бы химической дряхлости последних, ограничивает возможные пути развития» (Бюлл. Ср.-Аз. гос. ун-та, № 10, 1925, стр. 23—24).

Приблизительно такое же значение приписывает А. В. Благовещенский и терпенам. Он говорит, что циклические терпены приурочены к семействам, которые замыкают собой филогенетические ряды или относятся к наиболее древним, частично уже вымирающим группам. Так, богаты терпенами, кроме хвойных, еще гераниевые, молочайные, миртовые, рутовые, зонтичные, губоцветные и сложноцветные из семейств развивающихся; лавровые, перечные, анноновые и Hamamelidaceae из семейств затухающих.

К сходному выводу приходит автор, рассматривая распространение смол, а также глюкозидов.

Далее он приходит и к выводам, так сказать, второго порядка (выводам из выводов). Во-первых, он принимает существование старых, дряхлеющих и молодых групп. К первым он относит хвойные, сложноцветные (частью), мареновые (частью), губоцветные, пасленовые, маковые: «Все они характеризуются наклонностью образовывать большие количества кольчатых химических соединений, причем эти последние представляют собою в значительной степени вещества, не способные принимать дальнейшее участие в реакциях обмена в организме. Молодыми химически являются семейства розоцветных, бо́льшая часть злаков, бо́льшая часть бобовых и др., в которых даже и циклические соединения встречаются в таких формах, которые могут с помощью своих боковых цепей принимать участие в дальнейшем обмене. Однако в каждом «молодом» семействе можно встретить стареющие роды или группы родов, как, например, *Rosa* среди Rosaceae; Sophoreae и Podalyrieae среди Leguminosae, *Andropogon* и *Cymbopogon* среди злаков» (там же, стр. 26).

Во-вторых, он считает, что по мере общего развития мира растений в нем проявляется тенденция к увеличению образующихся в обмене веществ стойких циклических соединений. Чем выше специализация организма, тем меньшим запасом свободной энергии он обладает.

Наконец, Благовещенский приходит к выводу, что каждый филогенетический ряд, развиваясь согласно с законом расхождения признаков, в юношеской стадии своего развития имеет богатую свободной энергией протоплазму, которая под влиянием даже незначительных толчков извне выходит из состояния равновесия и переходит к новому, т. е. проявляет сильную изменчивость. Таких равновесных состояний может быть много, и каждое из них будет выражаться особой формой, с определенными морфологическими признаками.

В стадии филогенетической зрелости филогенетический ряд является уже настолько устойчивым, что лишь продолжительное влияние сильных внешних воздействий может его изменить. Это подтверждается наличием организмов, дошедших до нашего времени неизмененными с третичного периода.

Наконец, в последней стадии ряд приходит к дряхлости, к вымиранию, когда наблюдается перепроизводство стойких кольчатых систем и потеря способности не только к дальнейшему развитию ряда, но и к онтогении. Таковы Gnetaceae, Cycadaceae, Verticillatae, плауны, хвощи, Pteridospermae. Они закончили свое развитие и вымирают от неспособности организма к реакциям.

«Соглашаться с этой теорией, — говорит В. Л. Комаров, — нельзя по многим причинам. Ничего рокового в эволюционном учении нет, о дряхлости целых рядов говорить нельзя. Секвоя, почти вымершая на поверхности земного шара, в культуре и растет и плодоносит, как организм молодой, полный сил. Ее загубила не неспособность к реакциям, связанная с избытком терпенов, а ледниковый климат и развитие злакового дерна. Мы рассказали здесь о работе Благовещенского исключительно как о любопытной теории, показывающей возможность параллелизма между биохимией и морфологией» («Учение о виде», стр. 163—164).

Тем же вопросом о связи биохимии с систематикой заинтересовался и другой автор — проф. С. Л. Иванов, специально работающий над растительными жирами. В ряде своих работ он упорно возвращается к вопросу о том, что жирные масла растений имеют классификацию, параллельную систематике цветковых растений, а частью и споровых, что они

специфически связаны с определенными группами растений, что они меняются сообразно географическим условиям и что эволюцию растений можно также строить на биохимии, как и на морфологии.

По Иванову, «каждый вид обладает способностью вырабатывать при постоянных внешних условиях масло постоянного состава, которое является физиолого-химическим признаком данного вида» (цит. по «Учению о виде», стр. 165).

В зависимости от того, какая жирная кислота входит в состав масла, различны и свойства последнего; различны они и в зависимости от климатических условий.

«В некоторых случаях основная идея проф. Иванова о том, что специфичность жирных масел идет параллельно специфичности видов, родов, семейств и так далее, верна. В ряде других случаев влияние климата или вообще влияние окружающей организм среды на поглощение кислорода и усвоение его в процессе образования масла оказывается более сильным, чем историческая наследственность организма» («Учение о виде», стр. 167).

«Недостаток интересных работ А. В. Благовещенского и С. Л. Иванова,— указывает В. Л. Комаров,— заключается, с нашей точки зрения, главным образом в том, что они в фактической их части обратили внимание главным образом на продукты жизнедеятельности растений, а не на то вещество, которое эти продукты производит. Это понятно, так как анализ вещества протоплазмы и ядра, многих ферментов и ростовых веществ — гормонов — представляется задачей пока еще непревзойденной трудности.

«Косвенно эту задачу пытался решить проф. К. Мец. Он разработал метод серодиагностики, т. е. распознавания родственных и неродственных белков протоплазмы по способности их производить осаждение или свертывание кровяной сыворотки предварительно подготовленных опытных животных. Мец и его ученики проделали эти реакции с белковыми растворами, извлеченными из представителей чуть ли не всех семейств растительного мира от водорослей до цветковых, и построили родословное дерево растений. Особых неожиданностей этот метод не принес, и построенное на его основе родословие мало отличается от системы А. Энглера, являясь как бы биохимической проверкой последней» (там же, стр. 169).

Следует также отметить, что данные, полученные серодиагностическим методом, нередко противоречивы, что многие склонны объяснять недостаточной разработанностью самого метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя свои взгляды по вопросу о виде у растений, В. Л. Комаров в последней главе своей книги «Диалектика вида» пишет: «Вид прежде всего — явление природы, один из способов осуществления жизни. Совершенно неправы те авторы, которые пытались изобразить вид как прием классификации, как нечто условное. Ложность такого представления о виде остро и ясно вскрыл К. А. Тимирязев. В своей статье «Исторический метод в биологии» он посвятил четвертую главу (стр. 59—73) вопросу «Естественно-исторический вид — отвлеченное понятие или реальный факт». Детально разобрав его, он пришел к следующему выводу: «Итак, на вопрос, поставленный нами в заголовке: естественно-исторический вид — отвлеченное понятие или реальный факт, мы должны ответить двояко, соответственно двоякому смыслу, который, очевидно, связан с этим словом. Вида, как категории, строго определенной, всегда себе равной и неизменной, в природе не существует; утверждать обратное значило бы действительно повторять старую ошибку схоластиков «реалистов». Но рядом с этим и совершенно независимо от этого вывода мы должны признать, что виды в наблюдаемый нами момент имеют реальное существование, и это факт, ожидающий объяснения».

«Далее он говорит о наличии в природе одновременно двух различных процессов: основного, состоящего в изменении организмов и образовании новых органических форм, и другого — вторичного, «порывающего эту связь, вызывающего расчленение органического мира на обособленные группы форм». Обособленные группы и есть виды. Вид есть объективный факт» («Учение о виде», стр. 202—203).

В дальнейшем Комаров уделяет много внимания понятию динамичности вида.

«В противоположность метафизике диалектика рассматривает природу не как состояние покоя и неподвижности, застоя и неизменяемости, а как состояние непрерывного движения и изменения, непрерывного обновления и развития, где всегда что-то возникает и развивается, что-то разрушается и отживает свой век» (История ВКП(б). Краткий курс, 1938, стр. 101).

«Задача поймать и изобразить вид в движении трудна. Трудна потому, что в громадном большинстве случаев вид движется во времени и

в пространстве бесконечно медленнее, чем движемся мы сами, мыслящие и изучающие его особи. Нам приходится открывать процесс становления и распространения, а также и вымирания видов часто только из сравнения отдельных звеньев морфологических рядов» («Учение о виде», стр. 206).

«В противоположность метафизике, диалектика рассматривает процесс развития не как простой процесс роста... а как развитие, которое переходит от незначительных и скрытых количественных изменений к изменениям открытым, к изменениям коренным, к изменениям качественным, где качественные изменения наступают не постепенно, а быстро, внезапно, в виде скачкообразного перехода от одного состояния к другому состоянию, наступают не случайно, а закономерно, наступают в результате накопления незаметных и постепенных количественных изменений.

«Поэтому диалектический метод считает, что процесс развития следует понимать не как простое повторение пройденного, а как движение поступательное, как движение по восходящей линии, как переход от старого качественного состояния к новому качественному состоянию, как развитие от простого к сложному, от низшего к высшему.

«Образование каждого отдельного вида не есть повторение уже пройденного его предками пути, а движение по восходящей линии. При этом оно представляет собой переход от незначительных количественных изменений к изменениям коренным, качественным, в виде скачкообразного перехода от состояния разновидности к состоянию нового вида.

«Можно сказать и так, что виды являются узловыми точками в процессе изменения организмов, благодаря все растущим изменениям окружающей их среды» (там же, стр. 207).

В самом конце книги В. Л. Комаров дает новое определение вида: «Вид есть совокупность поколений, происходящих от общего предка и под влиянием среды и борьбы за существование обособленных отбором от остального мира живых существ; вместе с тем вид есть определенный этап в процессе эволюции» (стр. 212).

Это определение вполне правильно говорит о сущности вида. Правда, оно очень кратко и не содержит всех моментов, входящих в понятие о виде. Но «определение вида есть определение вида, а не теория видообразования», справедливо замечает В. Л. Комаров (стр. 211).

Академик

В. Н. Сукачев

ОСНОВЫ ТЕОРИИ БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ



торая половина XIX столетия в истории естествознания особенно характеризуется тем, что предметы и явления природы начинают усиленно изучаться с точки зрения их происхождения и развития. Появление этого направления в науках о природе нельзя приписать только влиянию Дарвина. Логика развития всего естествознания в последние столетия привела во второй половине прошлого века к мысли о необходимости знать генезис природных явлений для того, чтобы глубоко их понимать и ими управлять. Тем не менее роль Дарвина в утверждении этого положения была чрезвычайно велика. Такой путь развития естествознания привел к идее об общей связи и взаимной обусловленности всех явлений природы. Эта последняя идея нашла особенно яркое выражение в учении В. В. Докучаева о почве.

Изучение генезиса почвы показало Докучаеву, что почва есть результат взаимодействия ряда природных явлений, названных им факторами почвообразования, и привело его, как известно, к концепции о «генетической, вековечной и всегда закономерной связи, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительным, животным и минеральным царствами».

В. В. Докучаев [14, стр. 6—7] считал, что должна быть создана особая наука, изучающая этот взаимообусловленный комплекс явлений

и предметов на земной поверхности, и что она «займет вполне самостоятельное и почетное место со своими собственными, строго определенными задачами и методами, не смешиваясь с существующими отделами естествознания, ни тем более с расплывающейся во все стороны географией». Задачи этой намечавшейся Докучаевым новой науки взяла на себя в дальнейшем именно география в современном смысле этого слова, которая своим основным объектом изучения считает ныне чаще всего географический ландшафт. В понятии же о географическом ландшафте находит свое полное выражение указанная выше идея В. В. Докучаева о взаимообусловленности всех явлений и предметов на земной поверхности. Хотя учение о географическом ландшафте возникло почти одновременно в начале нынешнего столетия у нас и за границей [39, 41, 44], однако с наибольшей глубиной и полнотой это учение было разработано академиком Л. С. Бергом, который уже более 30 лет, как он сам говорит, под влиянием идей Докучаева, развивает это учение. Берг указывает, что еще в 1896 г. русский географ Е. Чижов высказывал мысли, сходные с идеями Докучаева, и писал, что география изучает связь и зависимость разнородных явлений, проистекающих из пространственных отношений на земной поверхности.

Недавно (1946 г.), в связи с состоявшимся столетием со дня рождения В. В. Докучаева, академиком А. А. Григорьевым, членом-корр. АН СССР И. П. Герасимовым и Ю. А. Ливеровским подробно выяснена роль Докучаева в развитии учения о географических ландшафтах. Ясное определение географического ландшафта Л. С. Берг дал еще в 1915 г.: «Природный ландшафт есть область, в которой характер рельефа, климата, растительного и почвенного покрова сливается в единое гармоническое целое, типично повторяющееся на протяжении известной зоны земли» [3, стр. 471]. Развивая это определение далее, Берг в 1936 г. писал: «Географический ландшафт есть такая совокупность, или группировка, предметов и явлений, в которых особенности рельефа, климата, вод, почвенного и растительного покрова и животного мира, а также, до известной степени, деятельность человека сливаются в единое гармоническое целое, типически повторяющееся на протяжении данной зоны земли» [3, стр. 11]. В самое последнее время [6, стр. 162] Л. С. Берг предложил заменить выражение «географический ландшафт» словами «географический аспект» и дал ему такое определение: «Под этим именем я подразумеваю закономерные группировки предметов и явлений на поверхности суши, на дне и на

поверхности моря (и вообще водоемов), обусловленные закономерным повторением свойств и особенностей почв и грунтов, климата, горных пород, водной среды, рельефа, растительности, животного мира, человека и проявлений его материальной и духовной культуры». «Географический аспект — это некое органическое целое, получающееся от взаимодействия всех участвующих факторов — материнской породы, почвы, климата, рельефа, гидрологического режима, органического мира и т. п.» Это понимание географического ландшафта с некоторыми изменениями в частностях является в настоящее время господствующим среди наших географов.

Л. С. Бергу принадлежит также первая попытка разработки системы таксономических единиц ландшафтоведения. Различая три основные такие единицы, Берг [5, стр. 13] пишет: «Пустыня умеренного климата есть ландшафтная зона, пески в этих пустынях есть географический ландшафт первого порядка, а бугристые пески есть географический ландшафт второго порядка, или географический индивид, особь». В качестве примера ландшафта второго порядка Берг приводит также «борбеломошник».

А. Пенк [44] предлагал называть хорой уже далее неделимую часть ландшафта. Берг [4, стр. 9], находя, что это понятие соответствует его географическому ландшафту в узком смысле слова, предлагает термин «геохора». Но ни тот, ни другой термин не привился.

В близком смысле к ландшафту второго порядка Л. С. Берга выражение «элементарный почвенный ландшафт» или просто «элементарный ландшафт» употребляет наш крупнейший почвовед, академик Б. Б. Полынов [24, 25, 26], подчеркивавший также, что почва «с самых первых моментов своего образования является произведением ландшафта» и поэтому, понятно, «отражает его свойства в гораздо большей степени, чем всякий другой его элемент» [24, стр. 82]. Мало того, Полынов [27, стр. 238] пишет: «Почва в известных случаях отражает не только характер свойственного ей ландшафта в данный момент, но и является материалом для изучения истории ландшафта». Как сказано выше, по признанию самого Берга, идеи Докучаева как почвоведа привели его к разработке учения о ландшафтах. Почвоведение по самой своей сущности более географично, чем какая-либо другая физико-географическая наука. Поэтому-то почвоведы так много сделали для изучения «географического ландшафта».

Идеи Докучаева о взаимозависимости всех явлений и предметов на земной поверхности нашли свой отклик и в другой области знания, в так называемой «геоботанике».[1] Это произошло оттого, что ботаники уже более столетия занимаются изучением зависимости распределения растительности от почвы, а Рупрехт еще в 1866 г. выдвинул идею о том, что чернозем есть продукт степной растительности. Ботаники, непосредственно работавшие с Докучаевым или находившиеся под влиянием его идей (Танфильев, Коржинский, Гордягин, Краснов, Высоцкий, Морозов и др.), много способствовали углублению познания взаимозависимости между почвой и растительностью. Г. Н. Высоцкий и Г. Ф. Морозов, сблизившись с В. В. Докучаевым в последний период его деятельности, когда он развивал охарактеризованные выше идеи о взаимозависимости всех предметов и явлений на земной поверхности, перенесли эти идеи в учение о растительном покрове, или «покрововедение»,[2] как называл его Высоцкий [7]. Оба они были лесоводами, и поэтому для них особенно ясно было взаимодействие в лесу между растительностью и почвой, грунтом, атмосферой и другими условиями его местопроизрастания. На этой базе Морозов создал свое лесоведение, получившее такую широкую известность как научная основа лесоводства, а в последнее десятилетие своей жизни (1910—1920) широко пропагандировал лозунг «лес как географическое явление», и, восприняв учение Берга о географическом ландшафте, писал, что «лес есть географический ландшафт» [19].

Понятие о растительных сообществах, или фитоценозах, как элементах, слагающих растительный покров земли, возникнув в конце прошлого столетия, начало развиваться в двух направлениях: в западной Европе, по преимуществу в Швеции, шла, главным образом, разработка закономерностей их флористического состава, а в Северной Америке и особенно у нас — в направлении изучения закономерностей распределения и состава сообществ в зависимости от условий среды. Это последнее направление, развиваясь под влиянием идей Докучаева, Берга и Морозова, привело к учению о биогеоценозах, которое рассматривает фитоценоз, т. е. участок растительного покрова, однородный на известном протяжении, не-

[1] В последнее время значение работ и идей В. В. Докучаева в развитии русской геоботаники обстоятельно освещено членом-корр. АН СССР Е. М. Лавренко [1945].

[2] Наряду с покрововедением, или «фитостроматологией», Г. Н. Высоцкий выделяет еще «учение о местопроизрастании», или «средоведение».

разрывно от населяющего его животного мира (зооценоза) и соответствующих ему почвы, подпочвы (грунта) и атмосферы, также однородных на этом протяжении [35, 37]. Поэтому биогеоценоз можно определить как участок земной поверхности, где на известном протяжении биоценоз и отвечающие ему части атмосферы, литосферы, гидросферы и педосферы остаются однородными и имеющими однородный характер взаимодействия между ними и поэтому в совокупности образующими единый, внутренно взаимообусловленный комплекс. Коротко это можно выразить так: биогеоценоз = биоценоз (фитоценоз + зооценоз) + биотоп (эдафотоп + климатоп). При этом зооценоз понимается как все животное население, включая и простейших, обитающее в данном фитоценозе. Поэтому, как правило, границы отдельного биогеоценоза определяются фитоценозом. Однако бывают случаи, когда эта роль принадлежит зооценозу. Под эдафотопом и климатопом понимаются участки почвы и части атмосферы, пространственно соответствующие данному биоценозу. При этом, говоря о литосфере, педосфере, гидросфере и атмосфере, надо иметь в виду режимы процессов, характеризующих эти земные оболочки в пределах данного биоценоза, так как все названные компоненты биогеоценоза не представляют собой чего-либо постоянного или неизменного,— они все время сами развиваются, изменяются.

Для рассматриваемого понятия мною было первоначально [35] предложено наименование «геоценоз», но впоследствии [36, 37], чтобы подчеркнуть большую роль биоценоза в жизни этого целого комплекса, я предложил называть его биогеоценозом. Однако недавно я узнал, что термин «геоценоз» и, как его синоним, «сингеоценоз» уже ранее были использованы С. И. Медведевым [18] по предложению В. В. Станчинского, правда в несколько более широком смысле. Так, среди ландшафта черноморско-азовской злаковой степи он различает следующие сингеоценозы: ковыльная степь на южном черноземе, полынная степь на солонцах с солончаками и прибрежной полосой, супесчаная терраса, песчаная терраса поймы Днепра и морские пески.

А. П. Ильинский [15] пошел по другому пути и предложил понятие биоценоза расширить, включив в него и неорганическую среду. Он пишет,

«Биоценоз является системой, в которой неорганическая среда, растения и животные являются взаимообусловленными». И далее: «Среда является неотъемлемой частью биоценоза, а потому должна входить в его определение». Такое понимание Ильинским биоценоза вполне соответствует содержанию понятия биогеоценоза. Однако предложение Ильинского неприемлемо, так как термин биоценоз всегда понимается как объединение только организмов. Изменять содержание понятия биоценоза нет никаких оснований. Ильинский все же не отождествлял свой биоценоз с географическим ландшафтом, предлагая для последнего особый термин — «крайобраз», который не привился.

Вообще нельзя не видеть, что необходимость в понятии, соответствующем развиваемому здесь понятию биогеоценоза, сознавалась и ранее другими учеными, которые отличали его от понятия географического ландшафта.

Таким образом, можно считать, что подход к изучению явлений и предметов на земной поверхности в их взаимодействии и взаимообусловленности, составляющих характернейшую черту современной географии как науки [4, стр. 30; 5, стр. 20], по мере углубления и расширения такого изучения, выявил всю грандиозность и разнообразие этих процессов взаимодействия и, естественно, привел к дифференциации такого изучения в различных направлениях. Примерами таких направлений и являются учение о ландшафтах, учение о физико-географическом процессе, интенсивно разрабатываемое академиком А. А. Григорьевым, и учение о биогеоценозах.

Это представление о взаимодействии и взаимообусловленности всех явлений на земной поверхности со всеми вытекающими отсюда последствиями, будучи важнейшим теоретическим обобщением, приведшим, в частности, к выяснению огромной биогеохимической роли организмов, столь блестяще освещенной в работах академика В. И. Вернадского, имеет и сугубо практическое значение. Если мы хотим наиболее полно использовать данное явление природы и управлять им в соответствии с требованиями народного хозяйства, то мы не можем рассматривать это явление изолированно от других, и это должно быть общим правилом, независимо от того, имеем ли мы дело с почвой, растительностью или животным миром, с водными ресурсами, с атмосферными явлениями и т. п. Проектируя те или иные хозяйственные мероприятия по отношению

к данному явлению, необходимо учитывать взаимозависимость этого явления с другими, иначе эффект от нашего воздействия на данное явление может оказаться совершенно отличным от ожидаемого. Поэтому самые разнообразные отрасли народного хозяйства требуют подхода к их объектам с возможно более широкой биогеоценотической точки зрения. Особенно это необходимо во всех отраслях полеводства, луговодства, лесоводства, освоения новых территорий и т. п. Разработка научного обоснования этих и многих других отраслей народного хозяйства, в сущности, всегда шла стихийно по этому пути, однако большей частью далеко не полно охватывая круг относящихся сюда природных явлений, часто без особого успеха и с ошибками. Только сознательное применение биогеоценотического метода будет обеспечивать более быстрые темпы и бо́льшую полноту освоения и использования природных ресурсов.

Хотя для биогеоценоза, как и для географического ландшафта, основным признаком служит наличие определенного взаимодействия атмосферы, воды, почвы, подпочвы, растительного покрова и животного мира, все же биогеоценоз и географический ландшафт не являются тождественными понятиями.

На этом вопросе надо остановиться подробнее, так как не для всех достаточно ясно это различие. Но, прежде чем разобрать этот вопрос, необходимо попытаться еще уточнить понятия биогеоценоза и географического ландшафта, так как в настоящее время нет единства взглядов в этом отношении.

Для правильного понимания сущности биогеоценоза надо принять во внимание, что хотя в биогеоценозе все его компоненты находятся во взаимовлиянии и взаимной переработке, но части атмосферы, литосферы, входящие в состав биогеоценоза, по преимуществу доставляют тот основной материал, который перерабатывается в биогеоценозе; фитоценоз и зооценоз являются главнейшими трансформаторами вещества и энергии, а почва представляет, в основном, продукт, результат взаимодействия других компонентов, находясь, однако, также во взаимодействии с ними. Поэтому можно сказать, что почва, как это было особенно подчеркнуто в последнее время А. А. Роде, является материальным выражением и ярким отражением основных свойств биогеоценоза. Отсюда вытекает особая биогеоценотическая роль почвы и исключительно важное значение изучения ее для познания самой сущности биогеоценоза.

Среди компонентов биогеоценоза особое место занимают микроорганизмы растительные и животные, обитающие в почве. По своей роли в превращении вещества и энергии они превосходят высших животных и растения. Кроме того, они своей массой составляют значительную часть того, что мы обыкновенно называем почвой. Достаточно сказать, что в 1 грамме почвы нередко находятся миллионы и миллиарды микробов. Помимо их роли в разрушении органических остатков, в фиксации свободного азота и в превращении или окислении некоторых неорганических веществ, велика их связь и с высшими растениями. Новейшие исследования, среди которых видное место занимают работы, проводимые в Институте микробиологии АН СССР, возглавляемом академиком Б. Л. Исаченко, особенно труды профессоров Красильникова и Мишустина, показали исключительно важное значение для жизни биогеоценоза соотношения микробов с ризосферой высших растений и соотношение микробов активаторов и антагонистов. Выделение химических веществ микробами, в том числе и антибиотических веществ, которые в последнее время стали играть такую важную роль в медицине, и выделения высших растений дали повод Г. Ф. Гаузе [8] говорить об особой химической биоценологии. Но в выделении такой ветви биоценология вряд ли нуждается, так как, в сущности, все взаимоотношения внутри биоценозов сводятся к химическим или физическим коакциям. Интенсивно разрабатываемая ныне почвенная микробиология до сих пор, к сожалению, мало привлекала внимание фитоценологов.

Изучение же микробного населения почвы и его жизнедеятельности должно быть неотъемлемой частью всякого детального фитоценотического исследования, а тем более стационарного. Микробы почвы по своеобразию их мира, по их исключительной биогеохимической роли, по специфической методике их изучения представляют собой совершенно своеобразный компонент биогеоценоза, выделенный уже давно Франсэ под именем эдафона. Быть может, его было бы удачнее назвать м и к р о б о ц е н о з о м, как это предложил П. Л. Богданов. Тогда, ограничив фитоценоз и зооценоз только высшими растениями и животными, мы можем сказать, что биоценоз слагается из фитоценоза, зооценоза и микробоценоза. Микробоценоз охватывает не только фито- и зооэдафон, но и микроорганизмы, находящиеся в воздухе данного биогеоценоза, а в соответствующих случаях и в воде или во льду, т. е. и фитопланктон, который может иметь

три формы: аэропланктон, гидропланктон и криопланктон [38, стр. 317—318; 45, стр. 29].

В природе нет даже двух вполне тождественных биогеоценозов, как нет таких же двух биоценозов, фитоценозов или участков почвы.

Но биогеоценозы, однородно построенные и одинаково развивающиеся, должны быть объединены в один тип биогеоценоза. Тип биогеоценоза соответствует понятию растительной ассоциации фитоценологов. Различать понятие конкретного биогеоценоза от типа биогеоценоза очень важно. При этом надо иметь в виду, что и тип биогеоценоза не является отвлеченным понятием, а вполне реально существует в природе и занимает определенный географический, а обычно и топографический ареал, хотя, конечно, при установлении типов биогеоценозов мы, сравнивая их и учитывая всю совокупность существенных их признаков, абстрагируемся от частностей отдельных фитоценозов. Прием установления типов биогеоценозов сходен с приемом систематика, когда он, исходя из изучения отдельных экземпляров растений и совокупности их признаков, устанавливает понятие вида данных растений.

Что касается географического ландшафта, то в современной географической литературе, во-первых, очень сильно варьирует объем этого понятия; во-вторых, обычно не отличают конкретный ландшафт от типа ландшафта. Коснемся сначала объема этого понятия.

Л. С. Берг [5, стр. 12—13], являющийся, как это уже было отмечено, создателем учения о ландшафтах, различая ландшафты двух категорий, в качестве примеров низшей таксономической единицы — географического ландшафта второго порядка — приводит, с одной стороны, борбеломошник, а с другой — бугристые пески. Но эти два примера несоизмеримы. Бор-беломошник, характеризуясь вполне определенным типом фитоценоза, занимает обычно на бугристых песках дюнных всхолмлений в лесной зоне вершины дюн; склоны заняты другим типом биогеоценоза, например мшистым бором, а котловинки между дюнами — типом биогеоценоза травянистого бора. Поэтому бор-беломошник отвечает объему нашего понятия типа биогеоценоза, но «бугристые пески» соответствуют комплексу трех, а иногда и четырех типов биогеоценозов. В общем же ландшафт второго порядка Л. С. Берга все же более широкое понятие, чем наш биогеоценоз.

Узким понятием является ландшафт также у А. Д. Гожева [12, стр. 501—502], называющего его типом территории. Однако, в сущности,

и у него типы территории не равновелики во всех случаях. Так, к типам территории он относит типы леса, как они в последнее время обычно понимаются, например ельник-кисличник, ельник-черничник и т. п., но, с другой стороны, типами территории он называет на второй придонской террасе солонцы, сыпучие бугристые пески, озерки, черноольховые трясины, т. е. такие участки территории, каждый из которых представлен несколькими биогеоценозами.[1]

Наряду с таким узким пониманием ландшафта можно назвать взгляд на ландшафт наших виднейших географов — С. В. Колесника и А. А. Григорьева, которые понимают его очень широко. Хотя Колесник [1940] отмечает, что его понимание ландшафта сходно с пониманием Берга, но в действительности оно значительно шире; так, Колесник не только не считает за ландшафт «ельники-кисличники» и «ельники-черничники» Гожева, но и «болото» в целом не называет ландшафтом. Он говорит: «Все это объекты фитоценологии, а не географии». И далее: «Ландшафт — это система комплексов, т. е. крупная единица земной поверхности». В широком смысле считает целесообразным употреблять слово «ландшафт» и А. А. Григорьев [10, стр. 148]. Он пишет: «Что касается размера ландшафта, то, во избежание недоразумений, необходимо иметь в виду, что ландшафт, обнимая территорию, обладающую чаще всего единством внутреннего развития взаимодействующих гидро-геоморфологического и фитогеографического частных процессов (а отнюдь не одного из них), лишь в исключительных случаях может совпадать с территорией одного фитоценоза, а, как правило, обнимает весь комплекс фитоценозов».

В широком смысле ландшафт понимает и Пассарге [40, стр. 213], разделяя его на части, которые все же шире, чем ландшафты второго порядка Берга.

Надо сказать, что Л. Г. Раменский [29, стр. 162 и сл.], детально разработавший производственную типологию земель, употребляя также термин «ландшафт», понимает его в совершенно ином смысле. Он так

---

[1] В последнее время А. Д. Гожев [13, стр. 110—111] чрезвычайно широко понимает термин «тип территории». Так, он приводит в качестве примеров типов территории гилею, саванну, полупустыню, степь, лес умеренных широт, тундру, сфагновые болота. Подразделения типа территории называются им вариациями, которые «есть местное выражение (проявление) типа территории». Вариации могут быть то более крупного, то более мелкого значения.

определяет ландшафт: «Экологически и генетически сопряженные, закономерно повторяющиеся комплексы местоположений образуют ландшафт, вернее его морфологическую основу. В качестве примеров ландшафтов он указывает моренный ландшафт, поймы больших рек, обширные песчаные пространства (арены), большие водораздельные верховые болота лесной зоны. Растительный и животный мир, а тем более человек с его деятельностью в состав ландшафта Раменского не входят. Таким образом, ландшафт его понимания очень далек от ландшафта Берга.

Несомненно, у нас наиболее обычные понимания ландшафта отвечают тем, которые даны были Л. С. Бергом, А. А. Григорьевым и С. В. Колесником. Но если принять во внимание, что, по определению Берга, географический ландшафт типично повторяется на протяжении данной зоны земли, то, следовательно, Берг принимает это выражение в смысле типа географического ландшафта. Учитывая это, все же географический ландшафт второго порядка Берга, так же как и элементарный ландшафт Полынова [25] или вариации типа территории Гожева [13], будут более широкими понятиями, чем понятие типа биогеоценоза, не говоря уже о том, что и по существу они от последнего отличаются. К типу биогеоценоза более близко подходит понятие фации в смысле, принятом академиками Д. В. Наливкиным [21, стр. 6] и Л. С. Бергом [6, стр. 162]. Понятия «фация» и «тип» биогеоценоза все же далеко не всегда совпадают. К тому же термин «фация» применительно к растительному покрову употреблялся в очень различных смыслах. Понятие биоценоза вполне соответствует понятию эпиморфы Р. И. Аболина [1, стр. 5], а тип биогеоценоза — его эпиформации и элементарному ландшафту в смысле, принятом С. Я. Соколовым [34, стр. 10]. Оно близко также к понятию экосистемы в понимании Тенсли [46]. В терминах же «эпиморфа» и «ландшафт» находит выражение лишь внешний вид территории, но не подчеркнута внутренняя общность явлений.

Необходимо отметить, что разница понятий «ландшафт» и «биогеоценоз» не только в объеме, но и в самой сущности. Прежде всего надо указать, что, в противоположность географическому ландшафту, в число компонентов биогеоценоза рельеф не входит, так как при различных условиях рельефа, хотя и редко, могут встречаться однородные биогеоценозы. Это, во-первых, может наблюдаться тогда, когда изменения рельефа не столь велики, чтобы вызвать другой характер взаимодействия между

компонентами биогеоценоза; во-вторых, различные типы рельефа могут так скомбинироваться с геологическим строением, что итог взаимодействия между компонентами будет практически однороден.

Тем не менее рельеф является фактором, влияющим на биогеоценоз и на отдельные его компоненты. Такими же факторами являются время и земное тяготение. На значение последнего обратил недавно внимание А. А. Роде [1946].

Вообще надо отличать компоненты биогеоценоза от факторов, на него влияющих. К компонентам относятся только поверхностная горная порода, почва, вода, атмосфера, фитоценоз и животный мир в пределах его. Большинство авторов, писавших о ландшафте, считало необходимым включать и человека с его хозяйственной деятельностью в состав ландшафта. Применительно к биогеоценозу это нецелесообразно, так как человек является не компонентом биогеоценоза, а лишь мощным фактором, на него действующим и нередко коренным образом его переделывающим. Вообще же факторы воздействия на биогеоценоз различаются по степени отдаленности действия. Если, например, рельеф — фактор большею частью близкого действия, то космические события — факторы, отдаленно действующие.

Наиболее существенными признаками, отличающими географический ландшафт от биогеоценоза, являются следующие. В ландшафтоведении самые мелкие таксономические единицы, географические ландшафты (аспекты) второго порядка, по Л. С. Бергу, объединяются в географические ландшафты первого порядка, а эти последние — в ландшафтные (географические) зоны. Следовательно, все они относятся к категории единиц географического районирования. Напротив, классификационные единицы в биогеоценологии таковыми не являются. Основной классификационной единицей в учении о биогеоценозах (биогеоценологии) является тип биогеоценоза, представляющий собою обобщение конкретных биогеоценозов. При установлении этой и высших биогеоценотических классификационных единиц кладется в основу то большее, то меньшее сходство коакций (взаимодействий) компонентов, особенно коакций между биоценозом и биотопом, но территориальное соотношение, близость или отдаленность их, не принимается во внимание. Конкретные биогеоценозы, объединяемые в один тип биогеоценоза, соответствующий растительной ассоциации фитоценологов, могут быть значительно разобщены, и между

ними могут размещаться биогеоценозы, весьма резко от них отличающиеся по характеру коакций, например между лесными биогеоценозами с сухими почвами одного типа могут находиться травяные биогеоценозы с влажными почвами и т. п.

Поэтому, если таксономические единицы в ландшафтоведении суть единицы, в основном, хорологические, то таксономические единицы в биогеоценологии таковыми не являются. Конечно, и эти последние занимают известное место на земной поверхности, но нас прежде всего интересует не это, а характер коакций между компонентами или, выражаясь более обще, характер процесса круговорота, точнее — взаимного обмена веществом и энергией. Изучение этого процесса, который можно назвать основным биогеоценотическим процессом, и является главнейшей задачей биогеоценологии.

Л. С. Берг [4, стр. 24] писал: «Карта есть начало и конец географического изучения, описания и выделения ландшафта». И далее: «Поэтому карта есть основа, с которой надо начинать изучение ландшафта. Но карта вместе с тем и венчает всякое географическое исследование ландшафта, ибо результатом такового должно явиться выделение (отграничение) некоторых естественных районов и нанесение их на карту». И это совершенно верно. При изучении же биогеоценоза главное внимание должно сосредоточиваться на его строе, сложении и особенно на процессе превращения вещества и энергии в нем. Нанесение же его на карту — дело уже второстепенное.

Каждый ландшафт какого угодно порядка будет слагаться из ряда биогеоценозов одного или различных типов, и для ландшафтоведения знание биогеоценозов необходимо, но эти два понятия принадлежат к различным категориям, подобно тому как отдельные растения и фитоценоз — понятия различных категорий, хотя последний состоит из растений, и изучение морфологии, экологии и систематического положения этих растений для фитоценолога обязательно. Поэтому нельзя согласиться с С. Я. Соколовым [34], что фитоценоз вместе с той территорией, которую он занимает, будет минимальным геоботаническим районом — микрорайоном и что «фитоценоз по своей территории будет соответствовать элементарному ландшафту и в то же время геоботаническому микрорайону». Также неверно его положение, что «если бы было возможно провести районирование Союза, доведя его до выделения фитоценозов, то мы составили бы

карту фактической растительности СССР». Такая карта, может быть, хорошо отражала бы распределение по территории фитоценозов (в нашем случае биогеоценозов), т. е. она была бы действительно хорошей картой растительности (соответственно картой биогеоценозов), но она не была бы картой районирования.

Конечно, термины — вещь условная, и можно термин ландшафт так трактовать, что он будет охватывать и ландшафты в понимании А. А. Григорьева и С. В. Колесника и биогеоценозы. Но тогда пришлось бы различать ландшафты весьма различных категорий, принципиально отличающиеся друг от друга. Это привело бы к еще большей неопределенности этого понятия, что, без сомнения, не содействовало бы разработке методики, планомерности и целеустремленности его изучения. Напротив, сравнительно недолгая история ландшафтоведения и биогеоценологии ярко показывает плодотворность четкого отграничения понятий «географический ландшафт» и «биогеоценоз». Несомненно также, что более углубленное изучение жизни биогеоценозов, в том числе и взаимоотношений их между собой, является необходимым условием и для познания жизни целых ландшафтов.

Изучение природных явлений в целях их использования всегда связано с их систематизацией, с их классификацией, которая важна и для теории и для практики. Вопросы классификации биогеоценозов, как, впрочем, и ландшафтов, еще не разработаны сколько-нибудь обстоятельно. Как сказано выше, Л. С. Берг [15, стр. 13] установил, в сущности, только три категории, начиная с низшей единицы: географический ландшафт второго порядка, географический ландшафт первого порядка и ландшафтная зона. Хотя специально он не останавливается на принципах классификации ландшафтов, но из текста книги видно, что в основу положено большее или меньшее сходство всех компонентов, входящих в состав ландшафта.

М. Д. Семенов-Тян-Шанский [31, стр. 378] предложил такую систему: ландшафт, район, подзона, зона и тип. Здесь особенно наглядно выявилось, что его система ландшафтов есть система единиц районирования. Беря за основу ландшафт в понимании Л. С. Берга, он рассматривает ландшафт как «качественное выражение вполне определенного количества активно действующей энергии в ландшафтообразующем процессе, т. е. в столкновении лучистой энергии солнца с земным шаром на определенном участке земной поверхности и в определенный отрезок времени» [32, 33].

Для характеристики ландшафтообразующего процесса он применяет особый показатель, который определяет отношение количества лучистой энергии солнца к количеству земного лучеиспускания. Этот показатель он и кладет в основу классификации ландшафтов.

Касается этого вопроса и А. Н. Пономарев [28, стр. 62—63]. Следуя Б. Б. Полынову, он пользуется термином «элементарный ландшафт», различая, однако, элементарные ландшафты двоякого рода: конкретный элементарный ландшафт, который он называет географическим индивидуумом, и обобщенный ландшафт, который является обобщением конкретных явлений, некоторой схематизацией конкретного многообразия их и, будучи основной таксономической единицей ландшафтоведения, соответствует виду в систематике. Этот ход рассуждений А. Н. Пономарева совершенно правилен и является прогрессивным моментом в развитии учения о ландшафтах.

Следующей, более высокой таксономической единицей у А. Н. Пономарева является географический ландшафт, который объединяет обобщенные элементарные ландшафты, распространенные в той или иной зоне. Конкретным элементарным ландшафтом, например, будет данный березовый колок в западной части западносибирской лесостепи, но западинные березовые колки индивидуальны по степени влажности, по характеру травяной растительности и т. п. «Но несмотря на эти различия, они подобны друг другу и могут быть объединены в один тип западинных березовых колков. Этот тип есть обобщенный элементарный ландшафт». Однако и в европейской лесостепи встречаются осиновые колки по западинам. «Все западинные лесостепные колки, и западносибирские и европейские, и по природе и по своему происхождению подобны друг другу». «Они образуют один географический ландшафт — западинные леса лесостепи, интразональные по своему значению». Таким образом, А. Н. Пономарев принимает тот же принцип построения таксономических единиц, какой указан мною для таксономических единиц в биогеоценологии. Его единицы также не являются целиком единицами районирования, и его ландшафты резко отличаются от ландшафтов Л. С. Берга и других географов. Они ближе стоят к биогеоценозам, но, во-первых, конкретный элементарный ландшафт А. Н. Пономарева шире конкретного биогеоценоза в моем смысле, а затем, при установлении географического ландшафта, он требует, чтобы последний был характерен для целой зоны.

Следовательно, это понятие в его трактовке не биогеоценотическое, а относится к проблеме районирования. Во всяком случае Пономарев в цитированной работе близко подходит к идее биогеоценоза.

В биогеоценологии основной таксономической единицей, как сказано выше, надо считать тип биогеоценоза, отвечающий растительной ассоциации. Эта единица, следовательно, очень мелка. В качестве более крупных таксономических единиц могут быть предложены следующие: группа типов биогеоценозов, класс типов биогеоценозов, биогеоценотическая формация, группа биогеоценотических формаций, класс биогеоценотических формаций и тип биогеоценотического покрова. В основу объединения биогеоценозов в таксономические единицы надо класть то большее, то меньшее сходство составляющих их компонентов и коакций между ними или, точнее, сходство процессов превращения веществ и энергии в них. Чем глубже и разностороннее изучены эти процессы, тем более естественна будет система биогеоценозов. Пока мы находимся лишь в самом начале этого изучения. Поэтому при построении системы биогеоценозов приходится пользоваться в настоящее время сравнением их структуры и протекающих в них процессов постольку, поскольку они проявляются в составе и морфологии их компонентов.

Если классификации почв и фитоценозов уже давно разрабатываются и все же еще в настоящее время вызывают много споров, то вполне понятно, что классификация биогеоценозов — еще дело будущего. Тем не менее разработка ее необходима и прежде всего для использования данных биогеоценологии в практике.

В литературе по ландшафтоведению было высказано мнение, что в ландшафте имеется полное приспособление всех его элементов друг к другу и что он представляет единое гармоническое целое. Против этой точки зрения, т. е. против взаимной приспособленности всех его элементов и гармонии в нем, были сделаны резонные возражения. Столь же мало оснований переносить эти представления и на биогеоценоз. Хотя биогеоценоз по сравнению с ландшафтом представляет более единое целое, где слагающие его компоненты находятся в тесном взаимодействии, однако взаимное приспособление между его компонентами не является основной их чертой. Если можно говорить об известном приспособлении организмов к среде или друг к другу, что, однако, не исключает и наличия антагонистических отношений между ними, то это выражение не применимо к кос-

ной части биогеоценоза. Неудачно в данном случае и выражение «взаимосвязь», хотя оно нередко применяется. Правильнее употреблять в этом случае только выражение «взаимовлияние», или «взаимодействие» (коакция).

Биогеоценоз представляет большею частью очень сложное образование. Сложность его зависит, главным образом, от степени развитости и сложности биоценоза, который соответствующим образом влияет на почву, гидрологический режим, фитоклимат и пр. Сложность биогеоценоза выражается не только в том, что в его состав входят части литосферы, атмосферы, гидросферы, фитоценоз и зооценоз, но и в своеобразной, сложной внутренней структуре, отдельные части которой также слагаются из всех или из части названных компонентов, но живут своей особой жизнью, отличной в той или другой мере от других структурных частей биогеоценоза. Так как такие структурные части в значительной степени определяются структурой биоценоза, особенно фитоценоза, то для этих структурных частей биогеоценоза можно принять тот же термин, который применяется для структурных частей фитоценоза, т. е. термин «синузии». *Синузии биогеоценоза*, следовательно, *представляют пространственно или по времени развития обособленные части биогеоценоза, отличающиеся особым характером их компонентов и характером коакций между ними*. Наиболее бросаются в глаза синузии, связанные с ярусами растительности и с сезонной сменой их аспектов. Но если мы примем во внимание микробоценоз, то наше представление о сложности синузиальной структуры биогеоценоза сильно возрастет. Ризосферы как факторы отбора микробов вызывают различный состав микробов и у различных растений. Лесная подстилка и калдан (ветошь) в степи слагаются из разных синузий. Листья различных растений, сгнивающие на почве, представляют разные синузии, к тому же отличные на разных стадиях разложения листа.

В общем мы можем различить синузии двух основных категорий: 1) *хоросинузии* (стратосинузии и др.) и 2) *хроносинузии* (смены сезонных аспектов и сезонного развития растений). Кроме того, можно различать макро- и микросинузии разных порядков, например ярус может состоять в свою очередь из синузий разного порядка.

В течение сезона в биогеоценозе сменяются во времени не только хроносинузии, но и хоросинузии. Например, микробное население меняется по мере разложения листьев и других органических остатков. Биогеоценоз представляет арену все время идущих внутри его смен одних синузий другими.

Изучение биогеоценоза должно обязательно сопровождаться анализом его синузиальной структуры. Однако детальное изучение синузий не должно заслонять собою общую задачу познания превращения вещества и энергии в биогеоценозе в целом. Здесь, как и во многих других случаях, есть опасение из-за деревьев не увидеть леса.

Как все в природе, так и биогеоценозы не представляют чего-либо постоянного и неизменного; не только синузии внутри их, но и сами они непрерывно, то более быстро, то более медленно, изменяются. Смены фитоценозов получили впервые у американских авторов, а потом и у других фитоценологов название с у к ц е с с и й. Этот термин целесообразно применить и ко всем сменам во времени биогеоценозов.

Причина и течение этих сукцессий могут быть очень различны. Уже непрерывное взаимодействие всех компонентов биогеоценоза между собой ведет к изменению, к переработке самих компонентов, а тем самым и к изменению характера взаимодействия между ними, т. е. к изменению всего биогеоценоза в целом. С течением времени эти изменения делаются столь значительными, что позволяют говорить уже о появлении нового биогеоценоза, сменившего прежний. Таким образом, биогеоценотический покров земной поверхности как на суше, так и в водной среде все время изменяется, развивается. С того момента, как участок литосферы, вышедший на дневную поверхность, начинает подвергаться действию атмосферных агентов и заселяться организмами, начинается этот процесс развития, процесс биогеоценогенеза, который никогда не прекращается, пока существует данный участок территории.

Хотя биогеоценогенез протекает в том или другом направлении с той или другой интенсивностью в зависимости от условий внешней среды по отношению к данному биогеоценозу, однако движущей силой биогеоценогенеза как саморазвития является не внешнее влияние, а внутренние противоречивые взаимодействия его компонентов.

Смена биогеоценозов на данном участке земной поверхности может происходить помимо охарактеризованного только что биогеоценогенеза,

во-первых, под влиянием развития того более общего, более крупного единства, в состав которого данный участок земной поверхности входит, например земного шара в целом или его отдельных частей, самостоятельно развивающихся, и, во-вторых, в зависимости от других, то более близких, то более отдаленных в известном отношении соседних явлений, которые с ним не стоят в органической связи и являются по отношению к нему внешними, посторонними (например, влияние человека, общее космическое изменение климата и пр.).

Можно различать три категории сукцессий биогеоценозов:

1) сукцессии, вызванные развитием биогеоценотического покрова земли, или сукцессии его саморазвития, т. е. биогеоценогенез;

2) сукцессии, обусловленные развитием того более общего, более крупного единства, в состав которого входит данный участок земной поверхности, — их можно назвать гологенетическими;

3) сукцессии, связанные с развитием других, то более близких, то более отдаленных соседних явлений, — их можно назвать гейтогенетическими.

Изменения третьей категории могут быть очень сильными, даже катастрофическими для биогеоценотического покрова.

Таким образом, изучение динамики биогеоценозов в целом должно вестись по трем названным направлениям и в то же время оно не может быть заменено изучением развития отдельных элементов, слагающих биогеоценоз. Однако, когда мы хотим говорить о развитии, генезисе биогеоценотического покрова, то речь о нем может итти лишь тогда, когда имеются сукцессии первой категории, т. е. биогеоценогенез. Как я говорил уже в другом месте [35] применительно к сукцессиям растительного покрова, развитие всякого природного явления, как учит материалистическая диалектика (см. Краткий курс истории ВКП(б), 1938, стр. 103—104), характеризуется тем, что оно осуществляется как самодвижение, источником которого, движущей силой является борьба внутренних противоречивых тенденций, свойственных данному явлению. Этому пониманию развития отвечает только первый случай динамики биогеоценотического покрова. Второй и третий случаи смен уже нельзя отнести к развитию растительного покрова как такового.

Поэтому не может быть речи о биогеоценотическом «климаксе» в том смысле, какой последнему придают многие американские и западно-

европейские авторы, как нет в этом смысле и климакса в отношении растительности. А. А. Роде [1946] подчеркивает, что обязательным элементом почвообразования всегда являются необратимые процессы и что это подтверждает отсутствие климакса в биогеоценотическом развитии.

Биогеоценогенез особенно наглядно выражается во все дальше идущем изменении горной породы, в развитии почвообразовательного процесса и в закономерной смене растительного и животного населения, т. е. в сукцессии биоценозов.

Почвообразовательный процесс, характеризуемый почвоведами как «совокупность явлений превращения и перемещения вещества и энергии, идущих в поверхностных слоях земной коры, среди которых наиболее существенны и характерны явления взаимообмена (обмен вещества и энергии) между этими слоями, образующими почву, и живыми организмами (главным образом растительностью)» [А. А. Роде], является процессом, результирующим изменение других компонентов биогеоценоза. Поэтому изучение почвообразовательного процесса особенно важно для познания биогеоценогенеза.

Так как почвообразовательный процесс и эволюция почв со времени В. В. Докучаева непрерывно изучаются почвоведами и в этом отношении имеются большие достижения, особенно благодаря работам русских как дореволюционных, так и советских почвоведов, то процесс биогеоценогенеза в целом уже основательно освещен. Не мало сделали для этого и ботаники, изучавшие фитоценогенез. В последнее время работы микробиологов также очень много дали в этом отношении. Изменения же других компонентов при биогеоценогенезе пока еще значительно менее изучены.

Несмотря на то, что биогеоценоз эволюционирует как целое, однако закономерности его развития ничего общего не имеют с развитием организма. Поэтому нельзя биогеоценоз сравнивать с организмом. Если имеющий уже историю спор о том, можно ли говорить о фитоценозе как об особом организме, должен быть разрешаем безусловно отрицательно, то с неменьшим основанием надо категорически отвергнуть попытки видеть аналогию в развитии биогеоценоза с развитием организма.

Хотя биогеоценология должна изучать биогеоценозы во всех отношениях, но основной задачей является всестороннее выяснение обмена

веществ и энергии между всеми компонентами биогеоценоза и между ним и окружающей средой.

В конечном счете управление данным природным явлением с той целью, чтобы оно давало максимум пользы для человека, сводится к соответствующей регулировке процесса взаимообмена в организме и с окружающей средой. Этот процесс чрезвычайно сложен, и с каждым днем успехи естествознания открывают все бо́льшую и бо́льшую его сложность. Изучение его требует совместной комплексной и, что особенно важно, целеустремленной работы ботаников, зоологов, почвоведов, климатологов, геологов, геоморфологов и гидрологов по исследованию режимов компонентов, слагающих биогеоценоз, и режима биогеоценоза в целом.

Такое изучение нуждается в длительном, стационарном исследовании биогеоценозов с применением весьма разнообразных приборов непосредственно в природе. К этому надо добавить, что методика, программа и формы организации таких комплексных стационарных исследований еще крайне мало разработаны.

В настоящее время все более и более начинает внедряться стационарный метод изучения природы. Как у нас, так и за границей, помимо старых метеорологических станций, организуются станции гидрологические, почвенные и фитоценотические. Это, конечно, очень хорошо, но этого мало. Совершенно необходимо создавать специальные комплексные биогеоценотические станции, где бы исследования и наблюдения велись по особо разработанной, единой биогеоценотической программе, где работа геологов, геоморфологов, гидрологов, почвоведов, климатологов, ботаников и зоологов была бы общей, единой по целеустремленности. Поэтому важнейшей очередной научной задачей является организация особых биогеоценотических исследовательских станций для изучения главных типов биогеоценозов.

Естественно, что организация такого рода научных станций должна рассматриваться как одна из основных задач Академии Наук СССР в лице ее отделений — Биологических и Геолого-географических наук. На этой почве комплексирование работ этих двух отделений имело бы огромное значение для развития и теории биогеоценологии, и теории ландшафтоведения и содействовало бы разрешению многих народнохозяйственных проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Р. И. Аболин.* Опыт эпигенологической классификации болот. Болотоведение, 1914, № 3, Минск.
2. *Л. С. Берг.* Опыт разделения Сибири и Туркестана на ландшафтные и морфологические области. Сборник в честь Д. Н. Анучина, М., 1913.
3. *Л. С. Берг.* Предмет и задачи географии. Изв. Русск. геогр. об-ва, LI, 1915, вып. IX.
4. *Л. С. Берг.* Ландшафтно-географические зоны СССР, ч. I, приложение 42-е к «Тр. по прикл. бот., ген. и сел.», 1930.
5. *Л. С. Берг.* Физико-географические (ландшафтные) зоны СССР, ч. I, 1936.
6. *Л. С. Берг.* Фации, географические аспекты и географические зоны. Изв. Всес. геогр. об-ва, т. 77, 1946, вып. 3.
7. *Г. Н. Высоцкий.* Почвоведение. Зап. Белор. гос. ин-та сельск. и лесн. хоз-ва, вып. 4, Минск, 1925.
8. *Г. Ф. Гаузе.* Некоторые проблемы химической биоценологии. Усп. совр. биол., т. XVII, 1944, № 2.
9. *И. П. Герасимов.* Учение В. В. Докучаева о зонах природы. Сб. «В. В. Докучаев и география», изд. АН СССР, 1946.
10. *А. А. Григорьев.* Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии. Изв. АН СССР, серия геогр. и геофиз., т. X, 1946, № 2.
11. *А. А. Григорьев* География и В. В. Докучаев. Сб. «В. В. Докучаев и география», изд. АН СССР, 1946.
12. *А. Д. Гожев.* К методологии физической географии. Изв. Гос. геогр. об-ва, т. LXVI, 1934, вып. 4, стр. 501—502.
13. *А. Д. Гожев.* О природе поверхности суши. Изв. Всес. геогр. об-ва, т. 77, 1945, вып. 1—2.
14. *В. В. Докучаев.* Место и роль современного почвоведения. Ежег. по геол. и минерал. России, т. 3, СПб., 1898, вып. 4—16; то же, 1899.
15. *А. П. Ильинский.* Современные проблемы динамической биогеографии. Тезисы к научной сессии, посвященной 125-летию Ленинградского университета. Л., 1944.
16. *Е. М. Лавренко.* Значение работ В. В. Докучаева для развития русской геоботаники. Сб. «В. В. Докучаев и география», изд. АН СССР, 1946.
17. *Ю. А. Ливеровский.* Географический метод В. В. Докучаева. Сб. «В. В. Докучаев и география», изд. АН СССР, 1946.
18. *С. И. Медведев.* Некоторые соображения о послеледниковых изменениях климата черноморско-азовской засушливой злаковой степи. Сб. «Вопросы экологии и биоценологии», 1936, вып. 3.
19. *Г. Ф. Морозов.* Лес как явление географическое. Материалы по изучению русского леса. Приложение к «Лесному журналу», 1915.
20. *Г. Ф. Морозов.* Учение о лесе. Л., 1923.
21. *Д. В. Наливкин.* Учение о фациях. Условия образования осадков. Изд. 2, Геол.-развед. изд-во, 1933.
22. *С. С. Неуструев.* Естественные районы Оренбургской губернии. Оренбург, 1918.

23. *М. Первухин.* Некоторые замечания по поводу статьи А. Н. Пономарева «Элементарные ландшафты абразионно-эрозионной платформы Урала в подзоне разнотравно-ковыльных степей». Землеведение, т. XXXIX, 1937, вып. 4—5, стр. 468.
24. *Б. Б. Полынов.* Ландшафт и почва. Природа, 1925, вып. 1.
25. *Б. Б. Полынов.* Пески Донской области, их почвы и ландшафты. Тр. Почв. ин-та им. Докучаева, 1926, вып. 1.
26. *Б. Б. Полынов.* Современные задачи географии и почв. На методологическом фронте географии и экономической географии. 1932.
27. *Б. Б. Полынов.* Роль почвоведения в учении о ландшафтах. Изв. Всес. геогр. об-ва, т. 78, 1946, вып. 2.
28. *А. Н. Пономарев.* Элементарные ландшафты абразионно-эрозионной платформы Урала в подзоне разнотравно-ковыльных степей. Землеведение, т. XXXIX, 1937, вып. 1.
29. *Л. Г. Раменский.* Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М., 1938.
30. *Ф. Рупрехт.* Геоботаническое исследование о черноземе. Зап. Академии Наук, 10-е прилож., 1866.
31. *М. Д. Семенов-Тян-Шанский.* Опыт определения таксономических единиц в географии. Землеведение, 1936, вып. 4.
32. *М. Д. Семенов-Тян-Шанский.* К теории ландшафтообразующего процесса. Уч. зап. Гос. пед. ин-та им. А. И. Герцена, XXI, Л., 1939.
33. *М. Д. Семенов-Тян-Шанский.* Зона намечающегося иссушения земной поверхности на пространстве Европейской части СССР. Изв. Всес. геогр. об-ва, т. 78, 1946, вып. 3.
34. *С. Я. Соколов.* Принципы геоботанического районирования. Тр. Бот. ин-та АН СССР, серия 3, 1938; Геоботаника, 1940, вып. 4.
35. *В. Н. Сукачев.* Идея развития в фитоценологии. Сов. бот., 1942, № 1—3.
36. *В. Н. Сукачев.* О принципах генетической классификации в биоценологии. Журн. общ. биол., т. VI, 1944, № 4.
37. *В. Н. Сукачев.* Биогеоценология и фитоценология. ДАН СССР, 1945.
38. *J. Braun-Blanquet.* Pflanzensoziologie. Berlin, 1928.
39. *S. Passarge.* Physiologische Morphologie. Mitteil. Geogr. Gesell., XXVI, Hamburg, 1912.
40. *S. Passarge.* Die Grundlagen der Landschaftskunde. III. 1920.
41. *S. Passarge.* Vergleichende Landschaftskunde. Heft: Aufgaben und Methoden der vergleichenden Landschaftskunde. Berlin, 1921.
42. *S. Passarge.* Beschreibende Landschaftskunde. Hamburg, 1929.
43. *S. Passarge.* Länder, reale Landschaften, ideale Landschaftstypen. Die Naturwissenschaften, 17 Jahrgang, 1929. H. 36, S. 707—709.
44. *A. Penck.* Neuere Geographie. Sonderband der Zeitschrift der Gesell. f. Erdkunde. Berlin, 1928.
45. *E. Rübel.* Pflanzengesellschaften der Erde. Bern — Berlin, 1930.
46. *A. G. Tensly.* The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, vol. XVI, 1935, 3.

Академик

Д. Н. Прянишников

ОБМЕН АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ И ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Глубокий теоретический интерес исследований в области обмена азотистых веществ в растениях сочетается с большим практическим значением. Вопросы об источниках азота у растений, о формах соединений азота, доступных растениям, о роли азотистого питания в жизни растения всегда были одними из основных, узловых вопросов агрохимии и тех разделов физиологии растений, которые имели ближайшее отношение к практическим задачам земледелия, к проблеме поднятия урожаев.

«Немного найдется явлений, — говорил К. А. Тимирязев, — где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научные вопросы о происхождении азота у растений неразрывно сливались с чисто практическими вопросами о пользе возделывания клевера и вообще бобовых». Это положение Тимирязева, высказанное им более 50 лет назад, не только блестяще подтвердилось, но теперь должно быть значительно расширено. Наряду с «биологическим азотом» клевера важнейшим фактором поднятия урожаев стал «азот технический». Развитие синтетической азотной промышленности, ставшее подлинным триумфом теоретических достижений общей химии, открыло новые, широчайшие возможности повышения урожая путем регулирования условий азотистого питания культурных растений.

В этих условиях чрезвычайно возросло значение теоретических исследований, дающих прочную научную основу для разработки практических мероприятий в деле производства и применения азотистых удобрений — одного из наиболее мощных средств химизации земледелия.

Нашей отечественной, советской агрохимии и физиологии растений принадлежит видная роль в развитии современных научных представлений в области азотистого питания и обмена азотистых веществ в растениях. Автору настоящих строк пришлось принимать непосредственное участие в решении ряда принципиальных вопросов, относящихся к этой проблеме, в течение более чем полустолетнего периода, основная доля которого приходится на время после Октябрьской революции.

Подводя некоторые итоги проведенной работы, хотелось бы указать прежде всего на то значение, которое в ее развитии имели определенные руководящие представления, помогавшие правильно понимать отдельные, добытые экспериментом факты, устанавливать связь между ними и указывать правильный путь для дальнейших экспериментов. Укажу здесь на две такие руководящие мысли, оказавшиеся чрезвычайно плодотворными при изучении проблемы азотистого питания растений, но имеющие вместе с тем и более общее значение.

Первая из них касается *тесной взаимной связи между внешними условиями питания и внутренними процессами обмена веществ у растений*. Внутреннее состояние растения, направление и интенсивность процессов обмена веществ в нем, в значительной степени определяют его отношение к условиям внешней среды, способность растения использовать тот или другой источник питания, притекающий извне. С другой стороны, изменение условий внешней среды, например формы или интенсивности азотистого питания, соотношения и концентрации других элементов способно оказать глубокое влияние на характер обмена веществ внутри растения. Только на пути познания этой взаимной связи и обусловленности между внутренним состоянием организма и внешней средой мы можем получить правильное представление о значении условий питания для жизни растения и надежное теоретическое обоснование таких приемов воздействия на растение, которые имеют целью изменять не только высоту урожая, но и его химический состав.

Вторая общая мысль, к которой автор неизменно обращался, начиная с первых своих шагов в изучении обмена азотистых веществ у растений, состоит в том, что существуют общие, сходные черты в обмене азотистых веществ у всех организмов. Представление о некотором параллелизме, единстве основных превращений азотистых веществ у животных и растений не раз с успехом служило отправным пунктом для построения рабочих гипотез при исследованиях в области физиологии растений и сыграло большую роль в установлении ряда принципиальных положений. Мы уверены, что этот источник для новой постановки вопросов о разных сторонах обмена веществ в растении еще далеко не исчерпан.

Обращаясь к истории развития учения об азотистом обмене у растений, мы можем видеть, как отношение именно к этому общему представлению, признание общих черт в обмене азотистых веществ у животных и растений, направляло мысль исследователя по правильному пути и, наоборот, их отрицание вело к ошибочным заключениям и заблуждениям.

Существует два основных типа, два направления превращений азотистых веществ в растении: 1) при восхождении от простейших соединений к более сложным преобладает синтетическое направление; 2) при регрессивном метаморфозе, с превращением сложных веществ в более простые, преобладают процессы распада, и расход вещества и энергии берет верх над приходом. Первый тип преобладает в зеленых ассимилирующих растениях при развитии их на свету; второй берет верх у тех же растений при развитии в темноте, а для бесхлорофильных растений он является общим правилом.

Сто лет назад (1841 г.) Буссенго и Дюма указали на то, что растение, развивающееся в темноте, уподобляется животному организму; в нем преобладают окислительные процессы, выделяются углекислота и вода, образующиеся за счет сгорания углеводов. Но Буссенго затем провел аналогию и дальше, распространив ее на превращения белковых веществ. Он говорил, что подобно тому как у животных часть белка превращается благодаря окислительному процессу дыхания в кристаллическое азотистое вещество — мочевину, которую и находят в выделениях, так и в растениях, лишенных выделительных органов, находят в клеточном соке другое кристаллическое вещество — аспарагин, который есть также амид, как и мочевина, и который так же легко превращается в аспарагиново-

кислый аммоний, как мочевина в углекислый аммоний. Но так как аспарагин не выделяется наружу, то в последующем, когда растение развивает листья и процессы восстановления возьмут верх над окислением, аспарагин исчезает, потребляясь в процессе синтеза белков.

Однако дальнейшее развитие этого вопроса пошло по типу гегелевской триады, и за тезисом Буссенго последовал антитезис Пфеффера, который отрицал всякую общность превращения белков в растительном и животном организме и утверждал, что превращение белка в растении вовсе не начинается с гидролитического распада белков и с самого начала идет иначе, чем в животном организме под влиянием пепсина и трипсина. Пфэффер считал аспарагин первичным продуктом распада белков в растении, такой же транспортной формой для них, какой глюкоза является для крахмала, полагая, что аспарагин и глюкоза образуются в семядолях и затем, как легко диффундирующие вещества, проникают к точкам роста и служат там для образования белков в молодых органах. Этот взгляд Пфеффера, развитый им в 70-х годах, стал общепринятым в ботанических кругах, особенно в Германии, где он господствовал до начала текущего столетия (1915).

Но в 80-х и 90-х годах, благодаря работам агрохимической лаборатории Э. Шульце в Цюрихе, накопился большой фактический материал по этому вопросу, который шел вразрез с утверждениями Пфеффера.

Автором настоящей статьи, который был тогда сотрудником Шульце (1893—1894), были получены данные, противоречившие гипотезе Пфеффера. Мне пришлось в то время (1894) выступить в качестве пионера в борьбе с неправильной теорией Пфеффера и положить начало третьей стадии развития вопроса — стадии синтетической, причем я вернулся к исходной мысли Буссенго о параллелизме между образованием аспарагина у растений и мочевины у животных, но уже не на основе только общих соображений, а исходя из суммы вполне определенных фактов — как добытых Шульце (главным образом), так частично на основе собственных работ с прорастающими семенами *Vicia sativa*.[1] В 1897 г. мне удалось окончательно установить, что аспарагин образуется не первичным путем

[1] О значении моих работ того времени см. подробнее в книге Chibnall: Protein Metabolism in the plant (1939), где показано, что при полном согласии с взглядами Шульце на основные процессы распада белка в растении я пошел своим путем в вопросе об аналогии между аспарагином и мочевиной.

из белков (как утверждал Пфеффер), а вторичным — за счет обычных аминокислот (аминовалерьяновая, лейцин и пр.), получающихся при гидролитическом распаде белка; но если из аминокислот, содержащих одну группу NH_2, получается аспарагин, содержащий две такие группы (в аминном и амидном положении), то ясно, что в образовании аспарагина должен участвовать аммиак.

Прямое доказательство участия аммиака в этом процессе было затем дано работой В. С. Буткевича, выполненной в моей лаборатории (1904). Им было показано, что при анестезии (введение толуола), подавляющей синтез аспарагина, в прорастающем растении накопляется аммиак.

Эти исследования над обменом азотистых веществ при прорастании семян выявили роль аммиака в синтезе аспарагина и послужили основой для важного принципиального положения относительно физиологической оценки аммиачных солей как источников азотистого питания для растений. На самом деле, если «собственный» аммиак растения легко превращается в органическое соединение азота, то почему бы оно могло иначе относиться к аммиаку, поступающему извне? Ясно, что каково бы ни было происхождение аммиака, раз есть механизм для его использования, то при надлежащих условиях аммиак, который мы дадим растению извне, должен точно так же быть хорошим источником для синтеза аспарагина, а затем и синтеза белков в растении (так как было показано, что азот аспарагина, накопляющегося при прорастании, а затем на свету, когда ассимиляция становится достаточно энергичной, идет на образование белковых веществ). Фактически образование аспарагина за счет введенного извне аммиака было доказано затем рядом работ в моей лаборатории (И. С. Шулов, 1909, и др.). В дальнейшем у нас была выполнена большая серия исследований по изучению различных источников азотистого питания растений (аммиачного, нитратного, нитритного), в которых было показано, что при устранении физиологической кислотности солей аммиак быстрее используется для синтеза органических азотистых соединений, чем нитраты, причем последние после восстановления до аммиака также дают начало образованию аспарагина.

Полученные результаты — и в собственных работах, и в работах других лиц — дали основание автору уже в 1916 г. формулировать общий

вывод о том, что аммиак в растительном организме, как и в животном, является «альфой и омегой в обмене азотистых веществ».

К тому времени число общих черт в обмене азотистых веществ у растений и животных сильно возросло. Было установлено, что в том и другом царстве для обезвреживания аммиака низшие формы довольствуются нейтрализацией его выделяемыми кислотами, а высшие формы требуют обезвреживания аммиака путем перевода его в амидную форму. Так, при учете обмена веществ у грибов Буткевич показал, что у *Aspergillus* возможность накопления аммиака связана со способностью этого гриба к образованию щавелевой кислоты; если же ввести мел, то распад белков не доходит до аммиака. С другой стороны, среди высших растений, не терпящих накопления иона аммония в клеточном соке, позднее нашлась особая группа с очень кислым соком — pH = 1.5—3.5 (Рулянд, 1936), которая настолько способна выносить значительные количества аммиака в клеточном соке, не прибегая к образованию амидов (аспарагина или глютамина), что входящие в нее растения получили даже название «аммиачных» (*Begonia*, *Oxalis*, *Rumex* и др.).

В животном царстве мы также имеем группы организмов, отличающихся высоким содержанием аммиака в выделениях. При этом характерно, что большее количество азота выделений падает на долю аммиака преимущественно у организмов, стоящих на низких ступенях эволюции, как это видно из следующих данных.[1]

Из всего азота жидких выделений на аммиак приходится (в %):

у актинии	100	у каракатицы	18.6
» пиявки	62—67	» гуся	25.0
» ракообразных	28—38	» ехидны	7.5
» *Ascaris*	33.3	» собаки	4.3

При этом интересно отметить, что у мясной мухи (*Calliphora*) в стадии личинки в выделениях преобладают аммиак (69—82% от всего азота) и амины, но после закукливания выделение аммиака прекращается и появляется мочевая кислота.

[1] Подробнее см. Х. С. Коштоянц. Основы сравнительной физиологии. М., 1940.

Дальше обнаружилось, что мочевина, хотя и считается характерной особенностью животного царства, все-таки встречается и у растений, именно у некоторых грибов, иногда в больших количествах, как показали исследования Н. Н. Иванова для *Lycoperdon*, *Bovista* и *Psalliota*; кроме того, удается, вводя аммиак, повысить образование мочевины, а вводя глюкозу, понизить его.[1]

Кроме нахождения в обмене веществ у растений общих черт с животным организмом, постепенно увеличивалось число фактов параллельного ряда, именно обнаружение у животных (хотя бы и в подавленной форме) тех синтетических реакций, на которые раньше считались способными только растения; так, если говорить о преобладающем типе, то животное не синтезирует аминокислот, а получает их готовыми с белками пищи; оно только распускает «кружево» чужого белка и вяжет свое собственное из компонентов белков пищи. Однако животное не утратило способности и к синтезу аминокислот за счет аммиака, только для этого нужно ввести в организм соответственные уловители аммиака, каковыми являются кетонокислоты (Эмбден). Мало того, животный организм не утратил даже еще способности к восстановлению нитрогруппы. Так, при введении нитрофенола получается аминофенол, что аналогично обычному для растения восстановлению нитратов до аммиака. Эта все более выясняющаяся близость основных черт обмена азотистых веществ в обоих царствах природы побудила меня, в некоторых случаях с успехом, строить гипотезы для работы с растениями, исходя из данных животной физиологии. Познакомившись ближе с некоторыми работами по образованию мочевины в тканях печени за счет солей аммония, при которых бикарбонат оказался наилучшей формой, автор решил пересмотреть вопрос об отношении растения к соединениям аммиака с углекислотой, которые считались наиболее ядовитыми из всех солей аммония. Но когда автор применил вместо $(NH_4)_2CO_3$ раствор NH_4HCO_3, доведенный с помощью введения CO_2 до $pH = 6.5$, то эта соль оказалась лучшим источником для введения аммония в растительный организм не только по сравнению с NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, но и по сравнению с $NH_4H_2PO_4$, а в присутствии иона кальция рост растений при аммиачном питании не уступает росту при питании раствором $Ca(NO_3)_2$. Далее выявилась полная аналогия

[1] Н. Н. Иванов. Biochemische Zeitschrift, 1927.

между поведением ростков люпина и ткани печени при введении таких солей аммония, как $(NH_4)_2SO_4$; именно, ион SO_4 не только мешает использованию вводимого NH_4 для синтеза амидов (и мочевины, и аспарагина), но при этом еще наблюдается подавление синтеза амидов и за счет «собственного» аммиака тканей как растительных, так и животных. Тогда автор испытал обратный путь: на основании известных ему фактов из области растительной физиологии предсказать поведение тканей животного организма под влиянием такого же воздействия.

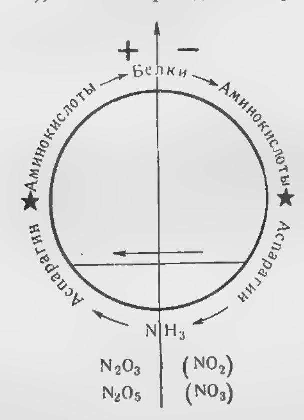
Из прежней работы В. С. Буткевича, проведенной в моей лаборатории,[1] было известно, что под влиянием анестезирующих веществ на проростки люпина прекращается синтез аспарагина за счет собственного аммиака и происходит накопление NH_4HCO_3.[1] С другой стороны, наблюдался полный параллелизм в действии $(NH_4)_2SO_4$ на ткани печени и проростки люпина. Отсюда я заключил, что нужно ожидать подавляющего действия анестезирующих веществ на синтез мочевины в печени, в связи с чем должно возрастать количество аммиака в моче. Я обращался к физиологам (между прочим к Абдергальдену) с предложением поставить соответственные опыты. Однако раньше, чем была достигнута договоренность в этом отношении, появилась работа Лефлера, вполне подтверждающая мои ожидания: оказалось, что умеренная доза хлороформа снижает количество образующейся мочевины, а повышенная доза совершенно прекращает ее образование.[2]

Стремясь построить общую схему превращения азотистых веществ в растениях, которая охватывала бы как «восходящий» ряд превращений, типических для растений, так и нисходящий ряд с преобладанием явлений распада, общего для растения с животным организмом, я прибег (1926) к следующему изображению (фиг. 1). Представим себе круг, левая половина которого отвечает «восходящему» ряду, переходу от низших форм к высшим, как это бывает при развитии растения на свету; тогда

[1] Интересно напомнить, что и самая работа Буткевича с действием анестезии на ростки люпина возникла из идеи единства превращения азотистых веществ у растений и животных; именно исходным пунктом послужила мысль Клода Бернара, что анестезирующие вещества подавляют преимущественно процессы синтеза, не задевая процессов распада. Эта мысль крупного представителя животной физиологии нашла блестящее подтверждение в опытах Буткевича с прорсстками люпина.

[2] L ö f l e r. Biochemische Zeitschrift, Bd. 150, S. 421.

при движении снизу вверх мы прежде всего имеем образование аспарагина за счет аммиака (все равно — «своего», или непосредственно поступившего извне, или образовавшегося при восстановлении нитратов в растении), а затем переход от аспарагина к аминокислотам и от них к белкам.



Фиг. 1. Схема превращений азотистых веществ в растениях

Правая половина отвечает нисходящему ряду превращений (регрессивный метаморфоз), имеющему место при жизни высших растений в темноте (а у бесхлорофильных растений, как и у животных, являющемуся правилом). В то время, когда создавалась эта схема, явления переаминирования не были известны, но ясно было, что в восходящей части имеет место массовый переход от амидного азота к аминному, причем скрытое участие аммиака в образовании последнего и было автором отмечено звездочкой;[1] такая же звездочка поставлена и в нисходящей части, но внешне невидимое участие аммиака при этом переходе от аминного азота к амидному было уже вскрыто ранее упомянутыми опытами с анестезией, проведенными в лаборатории автора В. С. Буткевичем.

В период создания упомянутой круговой схемы мы особенно подробно изучали стадии образования аспарагина за счет аммиака, поступившего извне. При этом было строго установлено, что синтез этот происходит в темноте, однако на нем резко сказывается степень обеспеченности проростков углеводами, а именно в этом отношении наметились следующие три группы растений:

---

[1] Теперь ясно, что аммиак, отщепляющийся при гидролизе амидной группы аспарагина, связывается с безазотистыми продуктами окисления углеводов — оксалоуксусной и фумаровой кислотами, а аспарагиновая кислота (как вновь образующаяся, так и остаточная) является донатором группы NH_2 при образовании цепей всего ряда аминокислот за счет кетонокислот.

1. Растения, проростки которых при питании растворами аммиачных солей [например, 0.05—0.1% NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$] легко образуют аспарагин. Аммиак при этом в растениях не накопляется. Типичный пример — зерновые злаки; в их этиолированных проростках весь поглощенный азот учитывается в виде вновь образовавшегося аспарагина.

2. Растения, семена которых не столь богаты углеводами (горох, вика). Введение солей аммония с сильными кислотами или не вызывает увеличения содержания аспарагина (вследствие подавления роста кислой реакцией раствора и замедления распада белков), или даже наблюдается его уменьшение; только при введении $CaCO_3$ начинается использование аммиака в процессе образования аспарагина (то же самое происходит при замене сульфата бикарбонатом аммония).

3. Растения (люпин), семена которых не содержат крахмала. У этих растений обычно (а у других — при крайнем истощении запаса углеводов) даже введение $CaCO_3$ не вызывает синтеза аспарагина; растения скоро начинают страдать от аммиачного отравления.

Дальнейшими нашими опытами было, однако, показано, что эти различия вовсе не являются такими видовыми отличиями, которых нельзя изменить; напротив, оказалось возможным экспериментальным путем перемещать растения из одной физиологической группы в другую. Для этого было испытано два пути:

1) Уменьшение запаса углеводов у проростков злаковых в целях приближения их к типу люпина. Это достигалось или физиологической подготовкой проростков, т. е. более продолжительным выдерживанием их в темноте, или хирургической их подготовкой — удалением эндосперма; и в том и в другом случае проростки злаковых начинали вести себя по типу люпина — они теряли способность к синтезу аспарагина и становились чувствительными к физиологической кислотности таких солей, как $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4Cl.

2) Усиление снабжения углеводами проростков люпина, или питание их искусственно глюкозой (в стерильных условиях), или выставление их на свет. В том и другом случае люпин начинал вести себя по типу злаковых и четко превращал весь поглощенный аммиак в амидно-аминную группировку (т. е. шел синтез аспарагина), причем терялась чувствительность к физиологической кислотности солей аммония.

Таким образом, нашими опытами было показано, что перед резко выраженными различиями в условиях питания как бы стушевываются видовые особенности растений, и вместо того чтобы говорить о типе ячменя, гороха или люпина, можно говорить о различиях в отношении к аммиаку растений, богатых и бедных углеводами.

Чтобы устранить возражение, будто при опыте с ассимилирующим люпином, помимо наличия углеводов, свет как таковой играл какую-либо роль, опыт был повторен, но проростки люпина развивались под стеклянными колпаками в атмосфере, лишенной углекислоты. В этих условиях проростки люпина, «световые» по габитусу, вели себя физиологически так же, как ведут этиолированные проростки, т. е. они скоро начали страдать от накопления аммиака в тканях.

Когда мною были подведены итоги всех опытов по влиянию углеводов и света на отношение растения к аммиаку, то получилась такая таблица (1922):

Условия опыта		*Результаты опыта*	
Углеводы	*Свет*	*Синтез аспарагина*	*Аммиачное отравление*
+	—	+	—
—	—	—	+
+	+	+	—
—	+	—	+

Таким образом, на синтез аспарагина влияет наличие углеводов, независимо от присутствия или отсутствия света; точно так же аммиачное отравление наступает при недостатке углеводов и в темноте, и на свету.

Так как при образовании аспарагина за счет извне поступающего аммиака у проростков, богатых запасом углеводов, наблюдалось точное совпадение между количеством азота в поглощенном аммиаке и количеством азота во вновь образованном аспарагине, то, следовательно, 50% азота аммиака переходит в амидную и 50% — в аминную форму, присоединяясь к какому-то безазотистому веществу с четырехуглеродной цепочкой. Если раньше казалось, что эта цепочка принадлежит яблочной

и фумаровой кислотам,[1] то дальнейшие исследования заставляют признать наибольшее значение в качестве уловителей аммиака не за оксикислотами, а за кетонокислотами, как оксалоуксусная, и непредельными кислотами, как фумаровая.

Если фумаровая кислота, присоединяя аммиак по месту двойной связи, непосредственно дает аспарагиновую кислоту, то при реакции оксалоуксусной кислоты с аммиаком требуется дополнительное восстановление:

$$COOHCOCH_2COOH + NH_3 - H_2O + H_2 = COOHCHNH_2CH_2COOH.$$

Известно, что при синтезе другого амида, распространенного и в растительном, и в животном царстве, — глютамина, такая роль принадлежит кетоглутаровой (или оксалопропионовой) кислоте:

$$COOHCOCH_2CH_2COOH + NH_3 - H_2O + H_2 = COOHCHNH_2CH_2CH_2COOH.$$

Роль названных дикарбоновых кислот с 4- или 5-углеродной цепочкой (фумаровая, оксалоуксусная, кетоглутаровая) в уловлении и обезвреживании аммиака не ограничивается образованием соответственных аминокислот, — они способны обезвредить еще одну частицу аммиака, давая амиды аминокислот, причем здесь играют роль специфические ферменты аспарагиназа и глютаминаза.[2]

Для объяснения некоторых ранее мной описанных фактов[3] имеет важное значение открытие сравнительно недавнего времени, касающееся аспарагиновой и глютаминовой кислот, которые играют такую важную роль в обезвреживании аммиака, образующегося в самом растении, и являются первым этапом использования извне поступающего аммиака:

---

[1] См., например, прежние высказывания автора в Berichte d. Deutsch. Botan. Gesell. с 1910 по 1922 г.

[2] Раньше растения делили на две группы: в одну входили растения, накопляющие аспарагин, в другую — накопляющие глютамин; но в последнее время, когда научились количественно определять глютамин в присутствии аспарагина, оказалось, что оба амида часто встречаются совместно; мало того, даже установлена возможность образования аспарагина за счет глютамина в одном и том же растении, но при разных степенях голодания; именно, растение, накопившее глютамин, может затем, в разгар окислительных процессов, укорачивать 5-углеродную цепочку в 4-углеродную, а затем переходить к окислению и последней, что связано уже с уменьшением количества амидного азота и с накоплением аммиака.

[3] См. схему на стр. 314 (фиг. 1).

оказалось, что через эти аминокислоты лежит еще и общий путь к синтезу остальных аминокислот с разнообразной длиной углеродной цепочки. Мы имеем в виду открытие Браунштейном и Крицман[1] (Москва) явления так называемого «переаминирования», т. е. перехода амидной группы от аспарагиновой или глютаминовой кислоты к любой кетонокислоте.

Кетонокислоты, обладающие одной карбоксильной группой, не склонны прямо реагировать с аммиаком и давать иминокислоты (и дальше—аминокислоты), но оказалось, что эта реакция идет легко с дикарбоновыми кетонокислотами (оксалоуксусной и кетоглутаровой), дающими аспарагиновую и глютаминовую кислоты, а эти последние способны передавать дальше аминогруппы уже другим кетонокислотам, что в сокращенной форме выражается следующим уравнением:

$$COOHCHNH_2CH_2COOH + RCOCOOH = COOHCOCH_2COOH + RCHNH_2COOH.$$

Вскоре то, что Браунштейн и Крицман наблюдали для животного организма, было подтверждено рядом наблюдений и над растительными объектами; так, Virtinen и Laine (Финляндия) нашли, что растертая масса гороха вызывает реакцию переаминирования между аспарагиновой кислотой и кетонокислотами; Эйлер и его сотрудники показали, что вытяжки из различных растений содержат энзимы, в присутствии которых глютаминовая кислота становится донатором группы NH_2 и способствует синтезу других аминокислот.

Благодаря легкости образования аспарагиновой и глютаминовой кислот из соответствующих кетонокислот и их способности к переаминированию, можно сказать, что дикарбоновые моноаминокислоты являются как бы большими воротами на пути, ведущем к синтезу других аминокислот, а следовательно и белков, причем этот путь является общим как для растительных, так и для животных организмов.

Ферменты, вызывающие образование названных дикарбоновых аминокислот и их амидов, найдены как в растительном царстве, так и в животном (проростки бобовых, ткани почек, мозга и пр.), и препараты, содержащие эти ферменты, вызывают соответственные реакции.

Таким образом, имеется большое число фактов, говорящих о единстве основных черт обмена азотистых веществ у растений и у животных, но

[1] Биохимия, 1937, II, стр. 242 и 859.

до известного времени факты эти укладывались в приведенную выше «круговую схему», способствуя как бы большей детализации того, что раньше изображалось лишь в общих чертах.

Однако в последние годы мы натолкнулись на такие примеры, которые этой схемой не предусматривались, а именно выделение растениями при известных условиях аммиака в раствор, окружающий корни, главным образом в виде бикарбоната, что представляет еще одну черту, сближающую растения с животным царством (см. таблицу на стр. 182). Этого рода явления послужили поводом для построения новой схемы вместо прежней («круговой»); так как они обнаружены были нами в тех случаях, когда растения питались нитратным азотом (или одновременно аммиачным и нитратным), то прежде чем говорить о новой схеме, необходимо остановиться на вопросе о превращении нитратов в растении.

Если a priori можно думать, что путь от нитратного азота к группе NH_2,[1] входящей в состав аминокислот (а следовательно и белков), должен лежать через аммиак, то фактически обнаружение аммиака как промежуточного продукта при нитратном (resp. нитритном) питании высших растений имело место в работе, произведенной в лаборатории автора И. Г. Дикусаром[2] в 1924 г., причем приемом для выявления промежуточных продуктов восстановления нитратов служила бо́льшая или меньшая обеспеченность проростков углеводами.

Другой прием применили в 1925 г. Клейн и Киссер. Работая с ростками, развивавшимися на свету и достаточно снабженными углеводами, они давали росткам кукурузы избыточное количество нитратов и тогда им удалось в среде, окружавшей корни, обнаружить аммиак (тем же приемом пользовалась София Эккерсон, обнаружившая аммиак микрохимически в клетках растений, удобренных в изобилии нитратами, после того как они в течение 2 недель не получали азота).

Ясно, что в тех случаях, когда растение само выделяет аммиак, оно не может быть подходящим объектом для опытов по сравнению скорости

---

[1] Образование аспарагина за счет нитратного азота у разных растений было количественно прослежено еще в 1908—1912 гг. рядом моих сотрудников (см. работы Дабахова, Ритмана, Калинкина, Перитурина и др. в VIII и IX томах отчетов лаборатории).

[2] Образование аммиака при нитратном питании низших растений было обнаружено Костычевым и Варбургом в 1920 г.

поглощения аммиака и нитратов из окружающего раствора; но и тогда, когда выделения аммиака наружу еще нет, а есть только накопление его внутри клеток, такое растение уже не годится в качестве объекта для подобных опытов. На эти явления мы натолкнулись, изучая скорость поступления ионов NH_4 и NO_3 из растворов NH_4NO_3.

Как правило, NH_4 поступает в растения быстрее, чем NO_3; поэтому нормальные растения относятся к NH_4NO_3, как к соли, физиологически кислой, — реакция раствора сдвигается обычно в кислую сторону. Это мы наблюдали неизменно на разных объектах в течение долгого ряда лет, одинаково как на ассимилирующих растениях, так и на этиолированных проростках в первых стадиях их развития. Первые исключения относятся к этиолированным проросткам, перешедшим за известную грань развития; например, у гороха это наблюдается у проростков, пробывших в темноте 12 дней и более (у люпина — раньше, а у проростков свеклы, обладающих малым запасом углеводов, еще раньше).

Для краткости это явление можно характеризовать как переход отношения $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}$ от величины, большей единицы к величине, меньшей единицы, если понимать под $N_{амм}$ азот NH_4, а под $N_{нитр}$ азот NO_3, или, еще короче, обозначить этот переход как «явление Пантанелли», по имени итальянского физиолога, впервые наблюдавшего случай $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$. Пантанелли не дал, однако, никакого объяснения этому, с первого взгляда, совершенно непонятному результату своих опытов.

Мы изучили это капризное явление на ряде растений в разных стадиях развития, при разных условиях, и по желанию научились его воспроизводить. Мало того, пойдя в сторону объектов, еще более бедных углеводами (но все же еще их содержащих), мы наблюдали нечто новое, чего не было в опытах Пантанелли, а именно: кроме замедления поступления аммиака, при более значительных концентрациях NH_4NO_3 наблюдалось в ы д е л е н и е а м м и а к а н а р у ж у; очевидно, в этом случае само растение было образователем аммиака.

Если прибегнуть к графическому изображению, то «явление Пантанелли» выразится так: пока проростки богаты углеводами, кривая поглощения аммиачного азота идет значительно выше нитратной кривой, но с каждым днем аммиачная кривая снижается и сближается с нитрат-

ной, затем наступает пересечение обеих линий, после чего снижение аммиачной кривой продолжается до пересечения с осью абсцисс, что означает уже не поглощение, а выделение аммиака. Но ту же картину можно получить не во времени, а в пространстве. Если в разных сосудах с ростками одинакового возраста (еще не дошедшими до «стадии Пантанелли») наблюдать влияние NH_4NO_3 при возрастающей концентрации, то, откладывая величины концентрации на оси абсцисс, также будем наблюдать постепенное снижение аммиачной кривой, ее пересечение с нитратной кривой — первые «ножницы», а затем и пересечение с осью абсцисс — вторые «ножницы», означающие переход к выделению аммиака.

Кроме возраста ростков и концентрации раствора NH_4NO_3 существенное влияние оказывает реакция среды, и если мы при том же возрасте ростков и той же концентрации NH_4NO_3 будем менять pH раствора (например, от 7.5 до 4.5), то снова получим буквально ту же картину последовательного снижения аммиачной кривой и ее пересечения сначала с нитратной кривой, а затем с осью абсцисс.

Различное отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в зависимости от возраста этиолированных растений, от концентрации и реакции раствора NH_4NO_3 представляет яркий пример тесной связи между внутренними факторами, характеризующими состояние обмена веществ у растения (как запас углеводов), и условиями внешней среды (концентрация раствора и реакция среды), взаимного влияния их на процесс питания растения.

Влияние различных факторов на процесс поглощения и усвоения аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 было нами подробно изучено и были построены целые «семейства» кривых, однако все их разнообразие может быть сведено к некоторому единству: так, если для какого угодно из изученных факторов отложить возрастающие величины на оси абсцисс, то получается одна и та же картина перехода от соотношения $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}} > 1$ к обратному $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}} < 1$, а затем смена поглощения аммиака на выделение его согласно общей схеме.

Объяснение всех этих случаев перехода от поглощения аммиака к его выделению мы нашли, исходя опять-таки из основного представления о некотором единстве процессов, идущих на разных ступенях биологической лестницы. Нам вспомнилась работа Костычева с плесневыми

грибами (1920), в которой он наблюдал образование белков за счет нитратов, без появления каких-либо промежуточных продуктов, если питание глюкозой было обильным; при скудном же питании глюкозой наблюдалось образование аммиака за счет нитратов и выделение его наружу. Точно так же позднее в опытах Дикусара с нитратами, проведенных в нашей лаборатории, наблюдалось образование аммиака как раз на проростках, уже истративших значительную часть запаса углеводов. Поэтому мы пришли к выводу, что причина «явления Пантанелли» должна лежать в редукции нитратов до аммиака, который уже не используется для синтеза амидов.

Для проверки этого предположения мы исключили аммиак из питательной смеси и поставили опыты с раствором $NaNO_3$, взяв проростки того возраста, в котором они заведомо дают «явление Пантанелли». Опыт вполне подтвердил наши предположения: при известных условиях нитраты почти нацело восстанавливаются до аммиака, который выделяется в раствор, так как он не потребляется на образование амидов вследствие подавления синтетических процессов.

Если графически нанести данные одного из типичных опытов с проростками гороха, то можно увидеть, что поглощение нитратов и выделение аммиака растут вместе с концентрацией раствора NH_4NO_3; так, если выделение NH_3 откладывать вниз, а поглощение NO_3 вверх по оси ординат, то при $pH = 8.0$ кривая выделения аммиака представляет зеркальное изображение кривой поглощения нитратов, т. е. осуществляется — на высшем растении — случай, отмеченный Варбургом для водоросли *Chlorella* («reine Reduktion, keine Assimilation»). Из аналогичных опытов с люпином приведем данные лишь для одного случая ($pH = 7.0$):

Концентрация раствора $NaNO_3$	0	0.05	0.10	0.20	0.40 норм.
Поглощено NO_3	—	3.1	6.1	14.7	18.1 мг N
Выделено NH_3	0	2.5	4.0	12.3	16.2 мг N

Мы опять видим, что азот, поступивший в растения в виде нитрата, почти нацело выделяется в виде аммиака.

Различные случаи выделения аммиака растениями, сохранившими жизненность и способными при восстановлении нормальных условий развиваться дальше и даже плодоносить, совершенно не укладываются

в ту «круговую схему», которая была нами предложена лет 20 назад (о ней смотри выше) и в свое время приносила пользу. Теперь настала пора заменить ее другой схемой, в которой учитывалось бы не только поступление аммиака и нитратов в растение, но и возможность выделения аммиака (фиг. 2).

Представим себе лестницу, нисходящие ступени которой отвечают разным степеням снабжения углеводами, наличность которых убывает при перенесении растения в темноту. В стадии I (обычно — световой)[1] синтез идет от аммиака (или нитратов) через амиды или аминокислоты до белка включительно, но в темноте постепенно отпадают сначала высшие функции, как синтез белков, а затем последовательно и низшие, одна за другой.

Синтез белков			
Синтез амидов			
Потребление NH_3		Выделение NH_3	
Поглощение NH_3 и NO_3 и восстановление NO_3 до NH_3			Отравление NH_3 и смерть растения
I	II	III	IV

Фиг. 2. Схема, иллюстрирующая влияние запаса углеводов на процессы превращения азотистых веществ в растениях

Всего дольше задерживается процесс на стадии II, когда дело доходит только до синтеза амидов (аспарагина и глютамина), образующихся при питании как аммиаком, так и нитратами при восстановлении последних до аммиака; эта стадия наиболее устойчива при прорастании в темноте.

На следующей ступени истощения углеводов (III) синтез амидов уже прекращается вследствие недостатка энергетического материала; однако его еще хватает на восстановление нитратов до аммиака; последний, не

[1] Теперь появились работы, доказывающие возможность прохождения в темноте всех стадий развития, включая цветение и плодоношение, но для этого нужно питать растение не только глюкозой и минеральными солями, но еще вводить в раствор и ростовые вещества (см., например, журнал «Hereditas» за 1940 г., где описаны соответственные опыты с горохом).

потребляясь в процессе синтеза амидов, начинает выделяться наружу (эту стадию можно продолжить, прибегая к смене раствора). Растения при этом еще могут остаться живыми, что обнаруживается при перенесении их в нормальные условия.

В стадии IV, наконец, истощается весь запас углеводов, растение начинает сжигать углеродную цепочку ранее образовавшегося аспарагина, наступает аммиачное отравление и смерть растения.

Из этих стадий наиболее близко к животному организму приближается высшее растение в стадии III,[1] когда оно, подобно какой-нибудь асцидии, пиявке или плесневому грибу, отдает в окружающую среду аммиак, очевидно в виде бикарбоната аммония; но связан ли аммиак с угольной кислотой, или с щавелевой, или еще с какой-либо, — это уже вопрос второстепенный.

Совершенно особый случай выделения аммиака наблюдали мы в одном опыте с ассимилирующими растениями; здесь оно может быть вызвано, несмотря на наличие углеводов, крайним избытком азотистой пищи, если приток последней превышает всякую меру возможного использования образующегося аммиака со стороны растения. Возьмем пример из наших опытов с овсом, когда в текучих культурах растения получали три разные дозы азота в виде NH_4NO_3, именно 24, 240 и 480 мг N на литр. При дозе 24 мг на литр имеем нормальный случай; поглощение NH_4 преобладает над поглощением NO_3 в течение всей жизни растения.

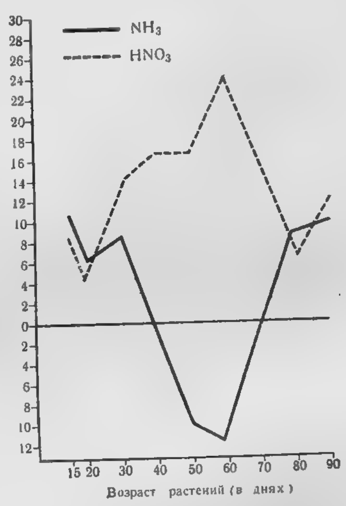
		40	60	80	90 дней
Возраст растений					
Поглощено азота	в виде NH_4	11.4	12.1	7.9	9.1 мг
	в виде NO_3	9.9	6.3	4.1	4.8 мг

При дозе в 240 мг, начиная с 40-дневного возраста, наблюдается «явление Пантанелли», т. е. преимущественное поглощение NO_3, а при дозе в 480 мг имеем следующую картину:

		15	30	40	50	60 дней
Возраст растений						
Поглощено азота	в виде NH_4	11.6	8.9	—0.96	—10.2	—12.2 мг
	в виде NO_3	9.3	15.6	17.92	17.8	26.1 мг

[1] Для полной сравнимости лучше взять случай, когда нитраты не вводятся, но голодающее растение начинает выделять свой собственный аммиак, что прежде всех наблюдал Буткевич.

Здесь молодые растения (15 дней) ведут себя нормально и поглощают больше NH_4, чем NO_3; через 30 дней уже имеет место обратное — наступает «явление Пантанелли», а через 40 дней начинается выделение аммиака, затем все более возрастающее (очевидно, растение после сформирования своих органов не нуждается больше в значительных количествах азота, а редукционный аппарат продолжает работу, превращая NO_3 в NH_4, что и приводит к выделению аммиака в раствор, окружающий корни). При этом растения продолжают нормально развиваться и дают зрелые семена, а дальше наступает совершенно неожиданное явление: после того как стебли первой генерации, давшие зрелые семена, были срезаны, *начинается вторичное кущение*, затем образуются стебли (меньшей длины) и выкидываются метелки, второй раз за то же лето. В это время аммиак опять начинает потребляться, и еще раз, как и в первые дни опыта, NH_4NO_3 ведет себя как физиологически кислая соль. При графическом изображении (фиг. 3) это сказывается следующим образом на ходе аммиачной и нитратной кривых.



Фиг. 3. Поглощение аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 ассимилирующими растениями овса разного возраста (при концентрации 480 мг N на литр)

После первого пересечения аммиачной и нитратной кривых, наступающего в этом случае очень рано, вскоре следует пересечение аммиачной кривой с осью абсцисс — начинается выделение аммиака. Но в промежутке между 60 и 70-дневным возрастом выделение аммиака уменьшается, аммиачная кривая идет вверх, пересекает ось абсцисс и поднимается опять до пересечения с нитратной кривой. Это отвечает началу нового роста и образованию вторичных стеблей — растение под влиянием

обильного азотистого питания не отмирает после плодоношения (как это бывает обычно), а начинает новую жизнь. Чтобы окончательно удостовериться в том, что аммиак и в этом случае (как и в опытах с этиолированными проростками) образуется за счет редукции нитратов, при повторении этого опыта мы взяли вместо NH_4NO_3 раствор $NaNO_3$ и также наблюдали выделение аммиака.

Так, на высоком уровне азотистого питания удается у ассимилирующего растения вызвать те же явления, какие наблюдаются у этиолированных растений уже при сравнительно малом притоке азотистой пищи.

В предыдущем изложении мы касались преимущественно вопроса о связи обмена азотистых веществ с количеством углеводов в растении, но в ряде опытов мы изучали также зависимость этого обмена от условий минерального питания, в частности зависимость использования аммиачного и нитратного азота от наличия тех или иных катионов и анионов в питательном растворе. Еще в 1926—1927 гг. опытами Дикусара в нашей лаборатории было показано, что при чисто аммиачном питании поступление кальция в растения затруднено, поэтому необходима значительная концентрация ионов кальция, чтобы получить нормальное развитие растений, между тем как в случае нитратного питания такое же обогащение раствора ионами кальция является уже вредным. Для калия получаются обратные соотношения.

Эта наша работа затем (в 30-х годах) нашла продолжение в опытах профессора университета имени Сун Ят-Сена в Кантоне Цун Ли-Лу (Tsung Lee-Loo), который показал, что K и SO_4 благоприятствуют усвоению проростками кукурузы нитратного азота, а Ca и Cl — усвоению аммиачного азота из раствора NH_4NO_3. Однако в опытах Цун Ли-Лу испытывалось влияние солей, а не отдельных ионов; поэтому мы, вернувшись в последнее время к разработке этого вопроса, применили такой метод: берется пара солей с общим анионом, например KCl и $CaCl_2$, и изменяется соотношение между катионами при постоянном количестве аниона (в других случаях — наоборот: изменяется соотношение между Cl и SO_4 при постоянном количестве того или другого катиона). Приведем здесь несколько примеров из опытов с ассимилирующими проростками пшеницы, проведенных в нашей лаборатории Н. С. Турковой в 1944—1946 гг. (см. таблицу на стр. 327).

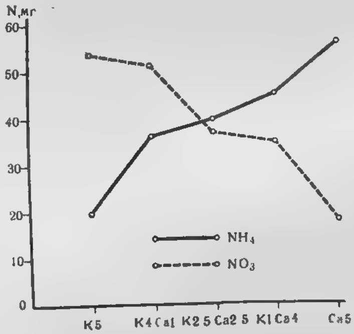
Из опытов с хлоридами:

Соотношение K и Ca	KCl	1	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	0
	$CaCl_2$	0	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{5}$	1
Поглощено N (в мг)	NH_4	19	43	45	57	58
	NO_3	60	56	45	45	31

Из опытов с сульфатами:

Соотношение K и Ca	K_2SO_4	1	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	0
	$CaSO_4$	0	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{5}$	1
Поглощено N (в мг)	NH_4	20	36	40	46	57
	NO_3	55	52	38	36	19

Из этих данных видно, что количество поглощенного аммиачного азота растет с количеством кальция в растворе и падает с количеством калия: нитраты ведут себя обратно — при графическом изображении получаются характерные ножницы (фиг. 4).

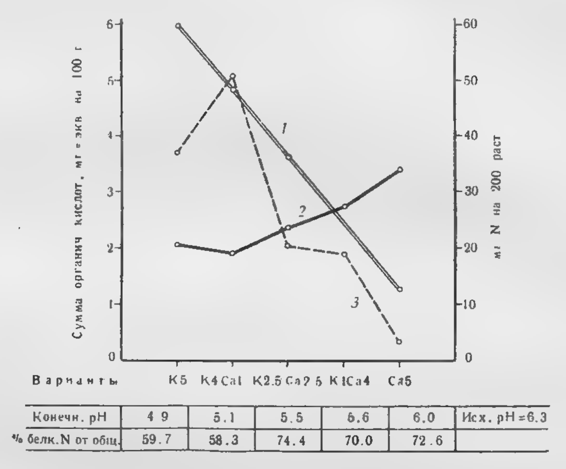


Фиг. 4. Поглощение проростками пшеницы нитратного и аммиачного азота из растворов NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

При изучении биохимических процессов в растениях, выдерживаемых при различном соотношении изучаемых катионов, оказалось, что калий и кальций различно влияют не только на поступление аммиачного и нитратного азота, но и на характер превращения азотистых веществ в тканях растения. Для иллюстрации этого влияния приведем данные одного из опытов с нитратом аммония и сульфатами калия и кальция (фиг. 5). С увеличением доли кальция и уменьшением калия во внешнем растворе в растениях возрастает содержание амидов и падает содержание свободных аминокислот. Накопление амидов находит-

ся в обратной зависимости от общего содержания органических кислот, которое резко возрастает при увеличении в растворе калия (resp. падает по мере замещения калия кальцием).

Значительная разница в содержании суммы органических кислот под влиянием изменения соотношения между калием и кальцием сохра-



Конечн. pH	4.9	5.1	5.5	5.6	6.0	Исх. pH=6.3
% белк. N от общ.	59.7	58.3	74.4	70.0	72.6	

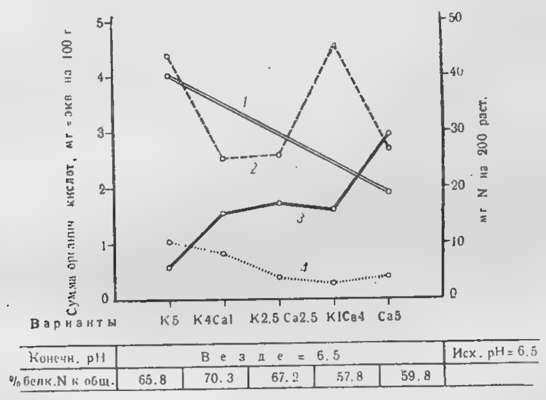
Фиг. 5. Содержание амидов, свободных аминокислот и суммы органических кислот в проростках пшеницы после 4—8 дней пребывания на растворах NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

1—сумма органических кислот; *2*—N амидов; *3*—N аминокислот

няется и в том случае, когда растения получают азот только в нитратной или только в аммиачной форме и при сохранении одинаковой величины pH = 6.5 (опыт с $NH_4HCO_3 + CO_2$, см. фиг. 6).

Повидимому, причиной обычно наблюдаемого усиленного синтеза амидов под влиянием кальция является то обстоятельство, что кальций способствует поступлению аммиака и в то же время сильно ограничивает накопление в растении органических кислот. Последнее, возможно, обусловлено активированием конечных фаз биологических окислений:

при преобладании в сумме катионов кальция, в комплексе окислительно-восстановительных ферментов наблюдается одностороннее усиление ферментов группы оксидаз. Так, в наших опытах наблюдалось одностороннее повышение активности пероксидазы в случае преобладания в растворе кальция (фиг. 7). При этом характерно, что у растений, образовавших максимальное количество белковых веществ (что имело место в данном опыте при средних величинах соотношения калия и кальция), наблюда-



Конечн. pH	Везде = 6.5					Исх. pH = 6.5
% белк.N к общ.	65.8	70.3	67.2	57.8	59.8	

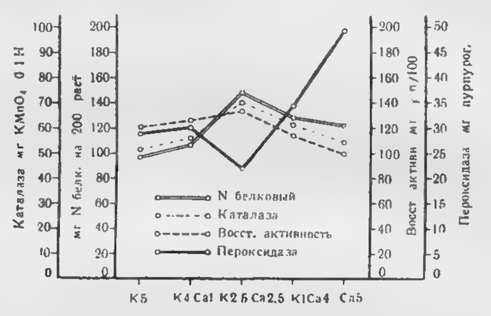
Фиг. 6. Содержание амидов, свободных аминокислот, аммиака и суммы органических кислот в проростках пшеницы после 4—8 дней пребывания на растворах $NH_4HCO_3+CO_2$ при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$.

1 — сумма органических кислот; *2* — N аминокислот; *3* — N амидов; *4* — N аммиака

лась наиболее высокая редуцирующая активность тканей (по Гутри) и максимальная активность каталазы при заметно сниженной активности пероксидазы.

Отсюда можно заключить, что влияние калия и кальция на обмен азотистых веществ находится в определенной связи с окислительно-восстановительным режимом тканей растения. Однако в вопросе о влиянии сопутствующих катионов (и анионов) на обмен азотистых веществ в ра-

стении можно разобраться только при условии, если иметь в виду также зависимость поступления в растение различных соединений азота от состава питательного раствора. Так, в зависимости от источника азота соотношение калия и кальция по-разному влияет на синтез белковых веществ. В опытах с такими источниками азота, в состав которых азот входит только в аммиачной форме (как NH_4HCO_3) или только в нитратной [опыты с KNO_3



Фиг. 7. Содержание белкового азота в проростках пшеницы, восстановительная активность тканей, активность каталазы и пероксидазы после 4 дней пребывания на растворах NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

и $Ca(NO_3)_2$], положительное действие калия на синтез белков проявляется с достаточной определенностью, что вполне согласуется с характером влияния калия на окислительно-восстановительный режим тканей. В опытах же с NH_4NO_3 преобладание кальция оказывает более благоприятное действие на синтез белков, чем преобладание калия. Это кажущееся противоречие объясняется тем, что при питании NH_4NO_3 калий ускоряет поступление преимущественно нитратного азота; нитратное же питание менее благоприятно для синтеза белков, чем питание аммиачное, и поэтому положительное действие калия на синтез белков в этом случае оказывается ослабленным или не проявляется совсем. Таким образом, и в тех сложных взаимоотношениях, которые определяют влияние калия и кальция на обмен азотистых веществ в растениях, мы снова сталкиваемся с основным фактом более быстрого использования аммиачной формы

азотистого питания для синтеза органических азотистых веществ в растении.

В итоге можно сказать, что последние данные, касающиеся синтеза амидов и других азотистых органических веществ в растении, дали ряд новых подтверждений моему тезису относительно аммиака, как альфы и омеги в процессах обмена азотистых веществ в растении; они еще раз показали не только неправильность старого положения (которое до сих пор еще не исчезает со страниц учебников) о необходимости предварительного окисления аммиака для питания растений, но и ошибочность более позднего утверждения, будто бы аммиак медленно используется растением; на деле, как мы видим, он ассимилируется быстрее, чем азот нитратный.

Надо подчеркнуть, что этот принципиальный взгляд на роль аммиачного азота в обмене веществ и вопрос об аммиачном и нитратном питании растений представляет интерес не только с точки зрения общефизиологических сопоставлений между высшими и низшими растениями и еще более широкого параллелизма с превращением веществ в животном организме, но и с точки зрения непосредственного приложения в сельском хозяйстве.

Современная азотная промышленность — это прежде всего промышленность синтетического аммиака. Аммиак в химической промышленности является сейчас той «альфой», которая лежит в основе получения как аммиачных, так и других азотистых удобрений. Поэтому чем лучше будет изучена проблема азотистого питания растения, и в частности питания аммиачного, тем более правильное научное обоснование мы сможем дать практическим мероприятиям в деле использования продукции азотной промышленности для поднятия урожаев на полях нашей страны.

Академик

А. И. Опарин

ФЕРМЕНТЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ РАСТЕНИЙ

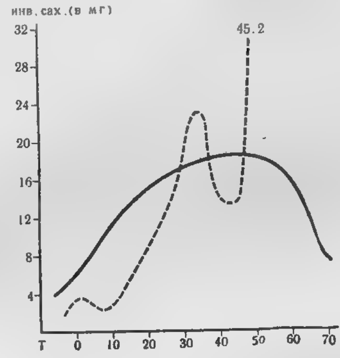


течение всего своего жизненного цикла развития растение проходит ряд качественно различных этапов, стадий, сводящихся к глубоким внутренним изменениям организма, в конечном итоге — к существенным, коренным сдвигам в обмене веществ. Так как в настоящее время не подлежит никакому сомнению, что большинство химических реакций, лежащих в основе обмена, носит ферментативный характер, вполне естественно было искать причину этих сдвигов в изменении активности ферментов на разных стадиях развития растения. Однако многочисленные произведенные в этом направлении исследования не дали в достаточной степени ясной картины, и только в отдельных случаях удавалось установить те или иные формальные корреляции, не объясняющие нам существа явления.

Причина этих неудач, по нашему мнению, заключалась в том, что изучение действия ферментов в основном велось на изолированных ферментных препаратах или на тех растворах и смесях, которые получаются после разрушения живой протоплазмы. Но как показали опыты, произведенные мною и моими сотрудниками на искусственных моделях и с живыми растительными тканями, активность ферментов изменяется в очень широких пределах в связи с их адсорбцией на тех или иных поверхностях. В живой клетке только часть того или иного фермента находится в свободном растворенном состоянии, другая же его часть адсорбиро-

вана на поверхности протоплазменных структур. Вследствие большой лабильности этих структур уже незначительные внешние воздействия или внутренние изменения, которые сами по себе не оказывают никакого влияния на изолированные ферменты, коренным образом изменяют характер адсорбции ферментов клеточными поверхностями (усиливая ее или ослабляя) и, таким образом, существенно смещают действие ферментов внутри живой клетки.

Поэтому всякое воздействие, которое мы стремимся оказать на ферменты в живой клетке, преломляется прежде всего в изменениях структуры протоплазмы. Именно это не позволяет судить о работе ферментов в живой клетке на основании простых модельных опытов, проводимых с водными растворами ферментов. Изучить и уловить влияние тех или иных факторов на работу ферментов в живой клетке можно, в конце концов, только прижизненно.



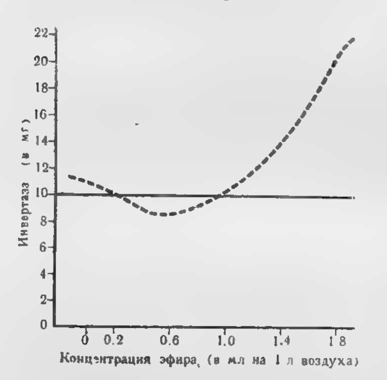
Фиг. 1. Влияние температуры на скорость расщепления инвертазой сахарозы.
Сплошная линия — в гомогенном растворе, прерывистая — в живом листе цикламена (по А. Курсанову)

Совместно с рядом сотрудников (А. Курсанов, Н. Сисакян, Б. Рубин и др.) мы развернули в Институте биохимии имени А. Н. Баха АН СССР исследования над действием ферментов в живой клетке. Широкая постановка таких работ сделалась возможной благодаря удачному применению метода вакуум-инфильтрации для количественных определений активности ферментов в живых тканях высших растений (А. Курсанов).

Когда этот метод был применен, сразу же выяснилось глубокое различие в поведении ферментов в живой клетке и в гомогенных растворах. На фиг. 1 изображены две кривые, характеризующие изменение активности фермента инвертазы в зависимости от температурного фактора. Сплошная линия показывает хорошо знакомую нам картину изменения активности инвертазы в гомогенном растворе. Она представляет одновер-

шинную кривую с оптимумом около 50° С. Прерывистая линия передает ход гидролиза сахарозы в живой клетке. Эта линия имеет вид многовершинной кривой и значительно более сложный характер.

Столь же велики различия в поведении инвертазы в живой клетке и в гомогенном растворе при последовательно увеличивающихся дозах наркотиков. На фиг. 2 представлены эти различия, полученные в опытах с серным эфиром, который в небольших дозах совсем не влияет на активность инвертазы в гомогенном растворе (сплошная линия), в живых же клетках он первоначально вызывает ослабление гидролитической активности, а вслед за этим резкое ее усиление.



Фиг. 2. Влияние серного эфира на скорость расщепления инвертазой сахарозы.

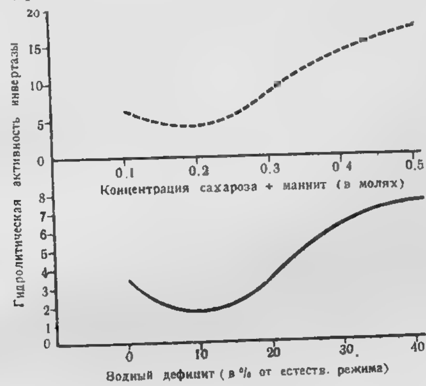
Сплошная линия — в гомогенном растворе, прерывистая — в живом листе цикламена (по А. Курсанову)

Если повышать концентрацию сахарозы в гомогенном растворе, то в известных пределах это будет мало сказываться на расщеплении сахарозы инвертазой. Наоборот, аналогичное воздействие, произведенное на живой лист (что может быть, например, достигнуто при его подвядании), вызывает сначала ослабление гидролиза сахарозы, а затем резкое его усиление (фиг. 3).

На том же рисунке представлена реакция живых клеток на повышение осмотического давления раствора, которое вызывалось введением в живую ткань маннита, т. е. вещества, не участвующего в гидролитическом действии инвертазы. В гомогенном растворе подобное добавление маннита не оказывает никакого влияния на ход расщепления инвертазой сахарозы, в живых же клетках сначала наступает ослабление гидролиза, а затем его резкое усиление (см. фиг. 3).

Приведенных примеров достаточно, чтобы показать, что ферментативный процесс гидролиза в живой клетке носит иной характер, чем тот,

который осуществляется тем же ферментом в гомогенном растворе. При этом обращает на себя внимание, что, несмотря на весьма различный характер воздействий (наркоз, низкие и высокие температуры, осмотическое давление и пр.), оказываемое действие проявляется в живой клетке довольно однообразно, а именно: в начальных стадиях клетка отвечает ослаблением гидролитического процесса, а при усилении воздействия —



Фиг. 3. Влияние завядания и осмотического давления на расщепление инвертазой сахарозы в живых листьях.

Сплошная линия — активность при возрастающем дефиците воды, прерывистая—при возрастающей концентрации маннита (по Н. Сисакяну)

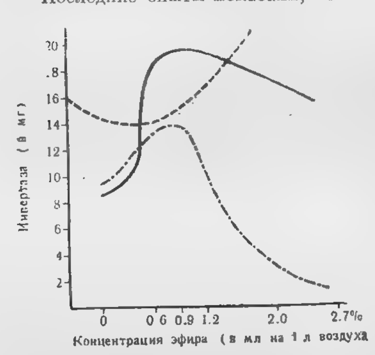
его возрастанием. Такая монотонность ответа хорошо совпадает со структурными изменениями живой протоплазмы, которые были подробно изучены и описаны Д. Насоновым и В. Александровым.

Можно поэтому полагать, что изменения скорости ферментативного процесса тесно связаны с теми физико-химическими и в первую очередь адсорбционными свойствами протоплазмы, которые характеризуют по Д. Насонову и В. Александрову ответную реакцию живой протоплазмы на внешние воздействия. При этом малые дозы раздражения вызывают так называемую «стадию возбуждения», во время которой адсорбционная

способность плазменных структур возрастает, а более сильное воздействие влечет за собой стадию угнетения, которая характеризуется ослаблением адсорбционных явлений.

Правильность этих предположений удалось подтвердить сначала на модельных опытах с адсорбцией и десорбцией ферментов на осадках и коацерватах, а позднее и прямым изучением адсорбционной способности протоплазмы в отношении ферментов.

Последние опыты показали, что клетки высших растений, равно как и одноклеточные организмы (например дрожжи), способны энергично адсорбировать из окружающего их раствора гидролитические ферменты, в результате чего эти последние лишаются своей активности. При ослаблении жизненного процесса, например при старении, клетки теряют способность удерживать адсорбированные ферменты, вследствие чего эти последние освобождаются и форсируют процессы распада, столь характерные для отмирающих клеток.



Фиг. 4. Изменения адсорбирующего действия протоплазмы в живых клетках под влиянием различной степени эфирного наркоза.

Сплошная линия — адсорбция инвертазы, прерывистая—гидролиз сахарозы, пунктирная —синтез сахарозы (по А. Курсанову)

Способность протоплазмы адсорбировать ферменты может сильно измениться и от ряда внешних воздействий, а также и от периодически происходящих внутренних изменений в самой протоплазме. Выше уже было показано какие изменения претерпевает активность инвертазы в живом листе под влиянием возрастающих доз эфира.

На фиг. 4 изображен ход изменения адсорбционной способности живых клеток к инвертазе под влиянием тех же доз эфира.

На этом примере мы видим, что с возрастанием адсорбционного действия протоплазмы инвертаза теряет свою гидролитическую активность, а при ослаблении адсорбции она ее вновь значительно усиливает.

Эти и многие другие факты приводят нас к заключению, что внешнее воздействие, оказываемое на живую клетку, прежде всего изменяет ее коллоидно-химические свойства и адсорбционную способность, а эта последняя оказывает свое действие уже и на скорость отдельных ферментативных реакций.

Тем же методом вакуум-инфильтрации может быть измерена и скорость обратных гидролизу синтетических ферментативных реакций, например, синтеза сахарозы, при введении в растительную ткань смеси моносахаров.

Если мы будем сопоставлять ход синтеза сахарозы с изменениями адсорбционной способности ткани по отношению к инвертазе, то здесь мы можем наблюдать прямую зависимость, а именно: чем сильнее проявляется адсорбция, тем энергичнее происходит синтез. Это положение можно иллюстрировать на том же опыте с эфирным наркозом.

Сравнивая ход гидролиза сахарозы (фиг. 4) с изменениями синтеза в условиях различных дозировок эфира, можно легко заметить, что обе кривые носят почти зеркально-противоположный характер.

Такую противоположность в изменениях ферментативного синтеза и гидролиза сахарозы удается получить и при многих других воздействиях на клетку (температура, водный режим, осмотическое давление и др.). При этом, как правило, слабая степень воздействия вызывает усиление синтеза (вместе с усилением адсорбции) и ослабление гидролиза, а дальнейшее повышение раздражения влечет за собой изменения обратного порядка, т. е. падение синтезирующей способности и усиление гидролиза на фоне ослабления адсорбционного действия протоплазмы.

Все это вновь показывает, что протоплазма реагирует на различные внешние воздействия довольно однообразно, усиливая при слабом воздействии адсорбцию и ослабляя ее при дальнейшем нарастании внешнего фактора, а это, в свою очередь, отражается определенным образом на гидролизующей активности ферментов и на ферментативных синтезах.

В настоящее время все эти факты прочно установлены, но остается еще не решенным вопрос о причинах столь характерной для живых тканей растений противоположности в изменениях ферментативного синтеза и гидролиза. Тем не менее, некоторые попытки решения вопроса о регулировании в живой клетке ферментативного равновесия между синтезом и распадом могут быть здесь указаны.

Гидролитические ферменты как катализаторы должны обладать обратимостью действия, т. е. осуществлять при известных условиях не только гидролитическое расщепление субстрата, но и его ресинтез. Одним из условий, определяющих возможность обратного течения такого ферментативного процесса, является безводность или малая уводненность реакционной среды. Создавая такие условия в своих опытах с ферментными препаратами, целый ряд ученых действительно мог наблюдать синтезирующее действие гидролитических ферментов.

Другим фактором, способным направлять процесс в сторону синтеза, является, как недавно показал Е. Бреслер, давление (7—10 тысяч атмосфер). В этих условиях молекулы реагирующих веществ настолько сближаются друг с другом, что это облегчает их взаимное соединение при каталитическом содействии соответствующего фермента.

На первый взгляд кажется, что в живой клетке подобные условия, т. е. безводность и высокое давление, не могут иметь места. Однако при внимательном изучении строения протоплазмы мы убеждаемся, что ее гетерогенность и огромное развитие поверхностей раздела между жидкими и твердыми фазами легко позволяют допустить условия если не тождественные вышеуказанным, то во всяком случае вполне им аналогичные.

Еще в 1937 г. мною было высказано предположение, что гидролитические ферменты, адсорбируясь на структурных элементах живой протоплазмы, имеющих гидрофобный характер, находят условия для осуществления синтезирующего действия; будучи же десорбированы и растворены в водной среде, они катализируют гидролитический процесс. Кроме того, сближение адсорбированных молекул, которое осуществляется в мономолекулярных слоях на поверхностях раздела, в известной мере аналогично тому эффекту, который достигается высоким давлением, и должно способствовать поэтому синтезирующему действию гидролитических ферментов на поверхностях структурных элементов протоплазмы. Эта гипотеза может объяснить многие наблюдаемые в живых тканях явления, и прежде всего ту зеркальную противоположность в изменениях синтеза и гидролиза, на которую мы указывали выше. Легко можно представить, что всякого рода воздействия, влияя на структуру протоплазмы, приводят к перераспределению тех или иных ферментов между адсорбированным и растворенным состоянием, а это в свою очередь приводит

к зеркальным изменениям скоростей синтетических и гидролитических реакций.

Однако в химическом отношении ферментативные синтезы протекают, видимо, сложнее, чем гидролитический процесс. Еще в 1931 г. в совместной с А. Курсановым работе мы высказали мнение, что ферментативному синтезу сахарозы предшествует фосфорилирование одного из компонентов (как мы полагали — фруктозы).

Мне кажется, что это была первая попытка привлечь фосфорную кислоту к участию в ферментативных синтезах ди- и полисахаридов. Вместе с тем наша гипотеза допускала, что ферментативный синтез сахарозы осуществляется иным, более сложным путем, чем ее гидролиз, хотя в этом процессе наряду с фосфатазами принимает участие и инвертаза.

Мысль об участии в синтезе полисахаридов фосфорной кислоты нашла широкое развитие в новейших работах Я. Парнаса, Кори, Ханеса, Кислинга, Когана, Дудорова и др. Успех этих исследований определил открытие нового типа легко обратимых реакций, катализируемых особыми ферментами — фосфорилазами, способными синтезировать из фосфорного эфира глюкозы (эфир Кори) различные полисахариды и обратно превращать их в тот же эфир. В частности, синтез сахарозы был в последнее время осуществлен препаратами фосфорилазы, полученными из микроорганизмов; при этом исходными продуктами были фосфорный эфир глюкозы и фруктоза.

Таким образом, хотя детали высказанной нами 15 лет назад гипотезы приходится в настоящее время оставить, обе основные мысли: 1) участие фосфорной кислоты в синтезе ди- и полисахаридов и 2) различные пути синтеза и гидролиза сахарозы—нашли в настоящее время свое подтверждение и широкое развитие.

Следует, впрочем, заметить, что у высших растений, которые являются основными производителями сахарозы, фосфорилазный синтез сахарозы пока не обнаружен, вследствие чего для них вопрос о ферментативном синтезе и распаде сахарозы еще нуждается в дальнейшем изучении.

Тем не менее, какое бы ни было окончательное решение этого вопроса, мы вправе говорить об обратимости ферментативных реакций в клетках, подразумевая под этим обратимость действия одного фермента (например, инвертазы или амилазы) или целой системы ферментов, которая,

например, может создаваться из сочетания инвертазы с соответствующей, обратимо действующей фосфорилазой.

Но каков бы ни был внутренний механизм изменения направленности ферментативного действия в живой клетке, наши непосредственные опыты с несомненностью показали, что всякое изменение адсорбционной способности протоплазмы, которое мы вызываем искусственным путем или которое возникает спонтанно в процессе прохождения растением его жизненного цикла, всегда влечет за собой соответствующие сдвиги в направленности ферментативного действия. Последнее, в свою очередь, является причиной изменения химического состава и физиологических свойств в растениях на различных стадиях развития. Это и определяет собой изменение обмена веществ в жизненном цикле растений.

Начнем рассмотрение ферментативных явлений в жизненном цикле с прорастания семени. До последнего времени принято было думать, что при прорастании зерна зародыш образует определенное количество ферментов, которые проникают в эндосперм, где они вызывают гидролитическое расщепление крахмала, белков и других запасных веществ, мобилизуемых на развитие проростка.

Наши исследования показали, однако, ошибочность такого представления. В действительности ферменты, и в частности β-амилаза, отнюдь не образуются в зародыше, а откладываются еще в период созревания семени в эндосперме, где они прочно адсорбированы и потому гидролитически не активны. Во время прорастания эндосперм получает от зародыша глютатион, который активирует протеолитический распад в эндосперме и освобождает β-амилазу, инвертазу и другие адсорбированные в покоящемся семени ферменты. При этом перешедшие в раствор ферменты перетекают из эндосперма в зародыш, где они используются молодыми тканями. Таким образом, оказалось, что эндосперм у зерна является источником не только питательных веществ, но и необходимых зародышу ферментов.

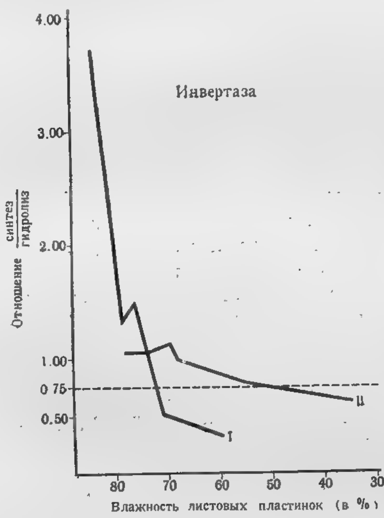
Зародыш жадно поглощает ферменты из эндосперма, при этом β-амилаза и инвертаза прочно адсорбируются молодой тканью, теряя свою гидролитическую активность. Вместо этого в клетках молодого ростка начинают проявляться интенсивные синтетические процессы, которые становятся возможными благодаря адсорбции гидролитических ферментов. Происходят ли некоторые из этих синтезов за счет обратимого

действия адсорбированных гидролаз или же вместе с этими последними ферментами из эндосперма в зародыш притекают ферменты, обратимо действующие в водной среде (например, фосфорилазы), сказать пока трудно, но во всяком случае адсорбция гидролитических ферментов сопровождается в ростке усилением синтетических реакций.

Соотношение между синтезом и гидролизом в растительных тканях является довольно характерным признаком для различных видов растений, хотя это соотношение и изменяется довольно закономерно в процессе развития самого растения. Так, например, сравнивая озимые и яровые формы пшениц, мы убедились, что первые всегда характеризуются более высоким отношением синтез/гидролиз, т. е. относительным преобладанием синтетического направления реакций над гидролитическим. У яровых же это отношение сдвинуто в сторону гидролиза. Интересно, что при яровизации озимых семян, произведенной по методу Т. Д. Лысенко, соотношение в них синтеза и гидролиза смещается так же, как у обычных яровых семян, причем вызванный яровизацией сдвиг ферментного равновесия сохраняется во всех органах этих растений до конца вегетации. Таким образом, принципиальное различие в реакции молодых и взрослых органов на температурные воздействия состоит в том, что у взрослых клеток вызванные этим фактором сдвиги ферментного действия вновь восстанавливаются после удаления фактора, в то время как зародышевая ткань, претерпев в начальной стадии подобный сдвиг, сохраняет его в дальнейшем онтогенетическом развитии. Это различие чрезвычайно существенно для практических работ по переделке живой природы и хозяйственно важных свойств растения.

Очень важно, что у сельскохозяйственных растений, внутри одного вида, отдельные сорта оказываются тем более скороспелыми, чем значительнее в их клетках гидролитическое действие ферментов преобладает над синтетическим. Этот факт установлен Б. Рубиным и Н. Сисакяном на большом числе овощных растений, на плодовых деревьях и злаках. Вместе с тем выяснилось, что каждому растению свойствен определенный уровень в соотношении синтетических и гидролитических реакций. Этот уровень является характерным видовым и сортовым признаком растения и во многом определяет его биологию и хозяйственную ценность. Необходимо, впрочем, иметь в виду, что многие внешние факторы, как содержание воды, температура, поражение растения паразитами и др., способны смещать

свойственные данному виду соотношения между синтезом и гидролизом, а вместе с тем способны влиять и на ход развития растения. Устойчивость того или иного сорта, например пшениц, к неблагоприятным факторам сводится в этом отношении к большей или меньшей способности растения сохранять свойственный ему уровень ферментативных реакций, а при нарушении такового вновь его восстанавливать при создании благоприятных условий. Наиболее тщательно этот вопрос изучен Н. Сисакяном на примере различных сортов пшениц.



Фиг. 5. Отношение синтез/гидролиз у листьев пшениц при увеличивающейся засухе:

линия I — сорт Маркиз, II — Лютесценс 062 (по Н. Сисакяну)

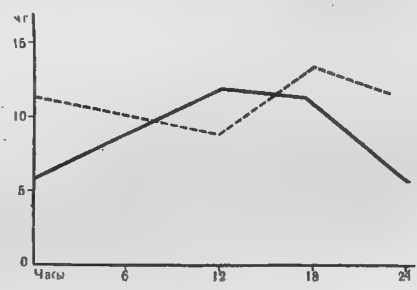
На фиг. 5 графически представлены изменения отношения синтеза к гидролизу у засухоустойчивого сорта пшеницы Лютесценс 062 и неустойчивого к засухе сорта Маркиз при постепенном завядании листьев.

Как видно из рисунка, Маркиз, обладающий очень высоким отношением синтеза к гидролизу, резко снижает это отношение вследствие развития гидролитических процессов и при 30% дефиците воды переходит границу (обозначенную на рисунке горизонтальной линией), после которой растение уже не способно восстановить свойственное данному сорту ферментное равновесие даже после обильного полива. Оказавшись в таком положении, растение теряет способность к нормальному обмену веществ и поэтому рано или поздно погибает. Наоборот, засухоустойчивая пшеница Лютесценс, которая хотя и не обладает с самого начала высоким отношением синтеза к гидролизу, однако значительно лучше его сохраняет

и поддается гибельным изменениям лишь после потери 40% водного запаса.

Характер ферментативных процессов, происходящих в эндосперме и молодом этиолированном ростке, существенно изменяется при позеленении листочков и переходе растения к автотрофному питанию. Это прежде всего вызывается разделением функций между отдельными органами и возникающими между ними взаимоотношениями.

Наиболее ответственная задача ложится на листья, которые должны не только образовать многие органические вещества, но и обеспечить их своевременное передвижение в осевые органы. Таким образом, в зеленом листе должны быть разрешены две задачи: интенсивный синтез и не менее интенсивный гидролиз веществ, т. е. процессы, диаметрально противоположные. Поэтому, если в зародыше, основной физиологической функцией которого является потребление веществ и рост, наблюдается постоянный уровень отношения синтеза к гидролизу, то в зеленом листе мы имеем периодические изменения направленности ферментативных реакций, что иллюстрируется фиг. 6.



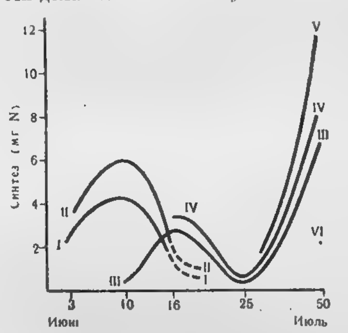
Фиг. 6. Суточные изменения синтеза и гидролиза сахарозы в листьях сахарной свеклы:
сплошная линия — синтез, прерывистая — гидролиз (по Б. Рубину)

Днем, когда лист ассимилирует CO_2, в его клетках происходят ослабление гидролитических процессов и соответствующее возрастание синтетических. Ночью синтетические процессы ослабевают, а гидролитические усиливаются. Суточные ритмы в направлении ферментативных процессов связаны с ритмическими изменениями адсорбционной способности живой протоплазмы зеленого листа. От утра к полудню происходит нарастание адсорбционной способности, вследствие чего гидролитическая активность ферментов падает, а синтетические процессы получают преобла-

дание. К вечеру же начинается десорбция гидролитических ферментов, и направление реакций смещается в сторону гидролиза.

Прямыми опытами А. Курсанову удалось показать, что листья жадно адсорбируют гидролитические ферменты на свету и вновь десорбируют их при затемнении. Впрочем, суточный ритм ферментативных реакций в листьях носит до известной степени и автономный характер, поскольку он продолжается у растений и в тех случаях, когда они находятся при круглосуточном затемнении или, напротив, в условиях беспрерывного освещения.

Однако, как показали исследования Б. Рубина и Н. Сисакяна, ритмы эти делаются в таких случаях менее определенными, а при искусственной перестановке периодов дня и ночи ферментативные периоды постепенно передвигаются, так что синтез вновь преобладает на свету, а гидролиз в темноте.



Фиг. 7. Синтезирующее действие протеаз в листьях овса различных ярусов.

Римскими цифрами на рисунке обозначены ярусы листьев, начиная с самого старого, т. е. нижнего (по А. Курсанову)

Таким образом разрешается в листьях трудная задача накопления веществ и их мобилизация. Днем, во время фотосинтеза, ферментативный аппарат листа превращает ассимиляты в крахмал, сахарозу, белки и другие высокомолекулярные продукты, образующие временные запасные отложения в ассимилирующих клетках. Этим обеспечивается нормальное течение ассимиляционного процесса на протяжении дня, так как простейшие сахара, накопляясь в листе, могут задерживать фотосинтез. С наступлением темноты ферментативный аппарат листа приобретает гидролитическую направленность, создающую благоприятные условия для отвода ассимилятов в осевые органы. Все это показывает, что продуктивность листа определяется не общим уровнем его синтетических процессов, а амплитудой суточных колебаний и гармоническим сочетанием этих колебаний с периодами смены дня и ночи.

Но листу — этому чрезвычайно сложному и ответственному органу растений — свойственны не только суточные, но и возрастные ритмы.

На фиг. 7 изображен повторяющийся для листа каждого яруса возрастной ход синтезирующего действия протеолитических ферментов. Как видно из рисунка, независимо от яруса, т. е. времени возникновения на растении, каждый лист проходит на протяжении своей жизни определенный период, который выражается в нарастании синтезирующего действия протеаз и в последующем его ослаблении к концу жизни данного листа. Многочисленные данные показали нам, что по мере старения листа происходит падение его синтезирующей способности и возрастание гидролитической активности заключенных в нем ферментов, что зависит от потери стареющей протоплазмой способности адсорбировать ферменты.

Важно отметить, что ферментативные ритмы в листьях (как суточные, так и возрастные) существенно нарушаются, когда растения вступают в фазу цветения и плодоношения. В этот период амплитуда суточных колебаний ферментативного аппарата возрастает. Кроме того, даже стареющие листья, уже начавшие терять способность к синтезу, вновь приобретают ее на период формирования репродуктивных органов.

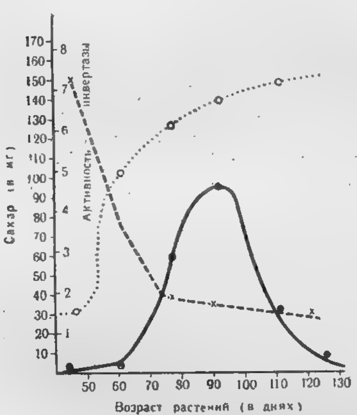
На фиг. 7 видно такое оживление ферментативной активности у листьев овса (*III* и *IV*).

Подробные исследования Н. Сисакяна показали, что деятельность ферментов в листьях тесно связана с состоянием других органов, и в первую очередь с плодоношением. Одним из весьма существенных факторов такой корреляции является по Н. Сисакяну осмотическое давление клеток, а также ряд специфически действующих веществ, в особенности некоторых аминокислот, которые даже совсем в незначительных количествах оказывают сильное и разнообразное влияние на направление ферментативных реакций в клетках.

Таким образом, лист осуществляет свои функции в зависимости от суточного и возрастного ритмов, а также и от влияния на него стадий развития организма в целом.

В осевых органах, и в частности в органах, где откладываются запасные вещества, суточный ритм отсутствует. Соотношение между синтезом и гидролизом оказывается здесь поэтому значительно более постоянным. Оно изменяется только в течение сезона, т. е. по мере прохождения растением цикла своего развития. На фиг. 8 представлено сезонное изменение адсорбции инвертазы корнями сахарной свеклы.

Как видно из рисунка, способность к адсорбции инвертазы появляется в корнях лишь на определенной стадии развития и, беспрерывно увеличиваясь, достигает к концу вегетации весьма значительного уровня. Результатами возросшей адсорбирующей способности являются почти полное исчезновение в клетках гидролитической активности инвертазы и усиленный синтез и накопление сахарозы. Позднее, в период копки, способность ткани к адсорбции инвертазы вновь ослабевает, но это не влечет за собой активации гидролитического действия этого фермента. Таким образом, к периоду основного сахаронакопления корень свеклы развивает исключительно высокую адсорбционную способность, что сообщает его ферментативному аппарату почти одностороннее синтезирующее действие. В то же время в листьях свеклы, как показал Н. Сисакян, в этот период начинают превалировать гидролитические процессы, способствующие оттоку ассимилятов. Эти соотношения и обусловливают то мощное сахаронакопление, которое наблюдается в корнях сахарной свеклы.



Фиг. 8. Севонные изменения адсорбирующей способности корня сахарной свеклы по отношению к инвертазе:

Сплошная линия — адсорбция; прерывистая — гидролитическая активность инвертазы; пунктирная — накопление сахарозы в корне (по А. Курсанову)

В зерне при его созревании также происходят весьма своеобразные изменения в характере ферментативных процессов. В совместной работе с Н. Дьячковым нам удалось показать, что гидролитические ферменты не образуются в самом развивающемся семени злаков, а поступают в него в растворенном состоянии из листьев вместе с пластическими веществами.

В период молочной спелости семян поступающие в них ферменты еще в значительной своей части остаются растворенными и сохраняют свою гидролитическую активность. Однако уже с начала восковой спелости

в семенах способность к адсорбции ферментов резко повышается, вследствие чего гидролитическая активность их падает. Прочно адсорбированные в клетках эндосперма амилаза, инвертаза и протеолитические ферменты остаются в гидролитически недеятельном состоянии в течение всего периода хранения, и лишь при прорастании на следующий год, десорбируясь с белковых структур, они осуществляют мобилизацию запасных веществ в эндосперме, а проникая через щиток, используются отчасти развивающимся ростком. В созревающих семенах, как и в корнях свеклы, адсорбция гидролаз сопровождается резким усилением синтетических процессов, приводящих к отложению крахмала, белков и других запасных продуктов.

Таким образом, в течение всего жизненного цикла растения, в отдельных его органах, ферменты испытывают определенные ритмы своей активности. Эти ритмы состоят в суточных, сезонных, возрастных и стадийных изменениях направленности ферментативных процессов. В основном они протекают автономно, но многие внешние воздействия могут оказывать сильное влияние на характер и последовательность этих изменений, что влечет за собой изменения и самой физиологической деятельности.

Ферментативные явления, связанные с прохождением растением жизненного цикла, непосредственно зависят от изменений структуры протоплазмы и, в первую очередь, от изменений ее адсорбционной способности. Вместе с тем в результате ферментативных процессов создаются или разрушаются и самые структуры. Таким образом, мы имеем здесь замкнутый круг явлений: организация во времени, т. е. скорость и последовательность ферментативных реакций, определяет собой организацию в пространстве, т. е. структуру протоплазмы, а эта последняя, в свою очередь, определяет организацию многочисленных ферментативных реакций во времени.

Совершенно естественно, что этот замкнутый цикл создавался исторически в процессе возникновения и развития жизни. Отдельные звенья этой организации мы уже научились понимать. В дальнейшем перед нами возникает большая и интересная задача — научиться искусственно влиять на ход и последовательность ферментативных реакций в живом растении, с тем чтобы получить этим путем возможность произвольно направлять течение жизненного процесса в нужную нам сторону и получать растения, обладающие ценными в хозяйственном отношении свойствами.

Академик

А. И. Опарин

А. Н. БАХ—ОСНОВОПОЛОЖНИК СОВЕТСКОЙ ЭНЗИМОЛОГИИ



В мае 1917 г., вскоре после того как в России было свергнуто самодержавие, Алексей Николаевич Бах покинул свою тихую лабораторию на берегу Женевского озера, с тем чтобы вновь вернуться на родину и принять участие в бурных событиях революционного времени. Ему было тогда 60 лет и он уже был вполне сложившимся, прославленным ученым. Но несмотря на это, он с юношеской энергией начал новый период своей необычайно плодотворной жизни, советский период, который длился почти 30 лет.

Две великие идеи всегда освещали жизненный путь А. Н. Баха — борьба за лучшее будущее человечества и служение науке. Но до установления советской власти эти две стороны деятельности ученого и революционера были разобщены между собой. «Двенадцать лет я пробыл в подполье, — писал в своих воспоминаниях Бах, — и когда я проходил мимо чужой лаборатории и видел пробирки с химическими реактивами, я невольно волновался. Как хотелось мне в эти минуты работать на пользу науке! Когда я был в подполье, я тосковал по научной работе, а когда сидел в лаборатории, я грустил об активной общественно-политической работе.

И только Октябрьская революция разрешила мои противоречия, только при советской власти я смог вдохновляться в своей научной ра-

боте, ибо получил возможность посвятить ее социалистическому строительству».

Именно это гармоническое сочетание научной и общественной деятельности, постоянное стремление не только продвинуть науку вперед, но и возможно быстрее использовать результаты научных достижений на благо социалистическому строительству и является характерной особенностью советского периода творчества Баха. Научный энтузиазм Алексея Николаевича заражал окружающих и привлекал к нему сердца исследователей. Очень скоро после его возвращения на родину около маститого ученого образовалась целая группа учеников — молодых исследователей, с увлечением работавших над развитием его идей и их приложением в практике социалистического строительства.

Из ученого-одиночки, ведущего исследования в своей маленькой частной лаборатории, Бах превращается в организатора и руководителя ряда крупнейших, известных всему миру научных учреждений: Биохимического института Наркомздрава, Физико-химического института имени Карпова, Института биохимии АН СССР и др.

Уже одно перечисление этих учреждений показывает, как широка и разностороння была научная деятельность Баха. Многие области физической, органической химии и биохимии обязаны своим расцветом работам Алексея Николаевича и его учеников. Но особенно много труда положил Бах на создание и развитие в Советском Союзе энзимологии — науки о ферментах. Эта область знания была любимейшим детищем Алексея Николаевича; ее он считал центральным, ведущим разделом современной биохимии и ей он посвятил большинство своих многочисленных экспериментальных работ.

Строго говоря, до Баха у нас энзимологии как самостоятельной научной дисциплины не существовало. Были лишь отдельные, более или менее разрозненные работы, посвященные исследованию ферментов в связи с теми или иными вопросами химии и физиологии. Бах создал свою, советскую школу энзимологов, которая сейчас представляет сплоченный и мощный отряд ученых, занимающий почетное место в мировой армии биохимиков. Этому отряду—советской энзимологии — свойственны свои характерные черты развития, свои достижения, чаяния и устремления.

Чтобы понять эти особенности советской энзимологии, нужно обратиться не только к предшествующему, досоветскому периоду научной

деятельности Баха, но и к более отдаленным эпохам в истории развития биохимии. В течение всей этой истории в биохимии переплетались и взаимно дополняли друг друга два основных направления: статическое — учение о веществах, составляющих живую материю, и динамическое — учение о совершающихся в ней процессах.

Колоссальных успехов динамическое направление в биохимии впервые достигло к началу XIX века, когда трудами Пристлея, Ингенгуза, Лавуазье и Соссюра был заложен фундамент современной биохимии, были установлены два наиважнейших биохимических процесса: ассимиляция и дыхание — начало и конец тех превращений, которым подвергается органическое вещество в организмах животных и растений. Естественно, что на этой основе возникло стремление глубже проникнуть в сущность совершающихся в организмах явлений, познать детали тех превращений вещества, которые лежат в основе жизни. Этому стремлению был, однако, в то время положен предел еще очень ограниченным знанием свойств самих изменяющихся в процессе жизни веществ. Не было еще сколько-нибудь отчетливого представления об их строении, а поэтому и суждения об их превращениях в организмах были весьма поверхностны, а нередко даже и превратны.

Но открытый Лавуазье метод анализа органических соединений при помощи их сжигания широко распахнул двери для изучения строения этих веществ. В эти двери устремилась блестящая плеяда выдающихся химиков первой половины XIX века, которые охотно и много занимались выделением и изучением веществ растительного и животного происхождения. Это создало предпосылки для мощного развития статического направления биохимии, которое на время отодвинуло на второй план изучение биохимического процесса.

Каждый год приносил открытие большого числа все новых и новых разнообразных углеродистых соединений. Усовершенствование метода анализа этих соединений создало возможность количественно определять их элементарный состав, а в дальнейшем, с развитием общих химических представлений, удалось установить и атомное строение их молекул.

К началу второй половины века, когда химикам удалось глубже заглянуть в строение молекул органических веществ, создались предпосылки для их планомерного сознательного синтеза. Работами корифеев органи-

ческой химии были получены многочисленные органические соединения, входящие в состав живой материи. Этими синтезами было доказано, что образование органических веществ не требует для своего осуществления каких-то сверхматериальных жизненных сил, как это думали раньше. А вместе с тем, на основе этих синтезов, изучение отдельных компонентов живой материи достигло решающих успехов.

Таким образом, в конце прошлого века статическое направление в биохимии приобрело господствующее положение. Блестящие достижения химии естественных органических соединений, имеющие громадное самодовлеющее значение, на время заслонили собой биологическую сторону вопроса — познание химических основ жизненного процесса. На почве увлечения успехами органической химии сложилось господствовавшее тогда мнение, что путем изучения отдельных соединений, входящих в состав живых существ, можно познать и самую жизнь. Считали, что если бы нам когда-либо удалось разложить живую клетку на все ее отдельные химические компоненты и с точностью установить все свойства изолированных таким образом индивидуальных химических веществ, то мы познали бы жизнь во всех ее проявлениях.

Однако такого рода представление, рассматривающее жизнь только как сумму свойств отдельных компонентов живой материи, является слишком упрощенным, а потому и ошибочным. Попытки пойти по этому пути вскоре привели к горьким разочарованиям. Оказалось, что отдельные органические вещества, изолированные в чистом виде из живой материи, ведут себя в колбах и пробирках химика совсем иначе, чем в живой клетке. Они хотя и могут здесь реагировать в разнообразных направлениях, хотя и обладают колоссальными химическими потенциями, но вне организма используют эти потенции крайне лениво, с исключительно малой скоростью. Если бы химические процессы совершались с такой же скоростью и внутри живых существ, то они не могли бы послужить основой для бурно протекающего явления жизни. Да и самый характер химических превращений, лежащих в основе обмена веществ, самое их направление представляются совсем иными, чем это мы можем наблюдать in vitro.

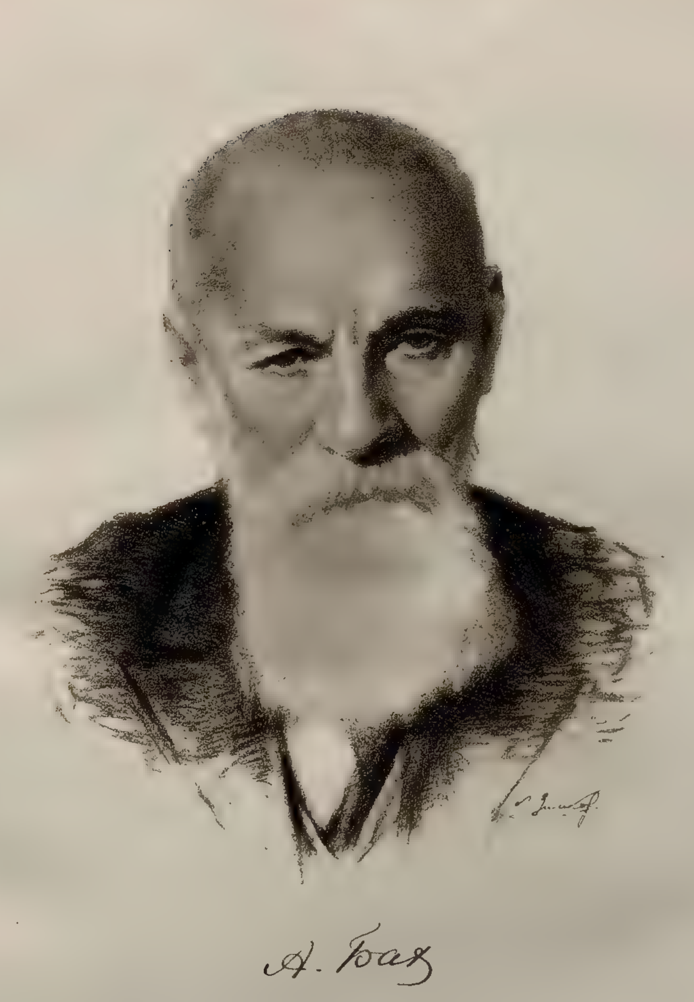
На почве этих противоречий, созданных упрощенным механистическим взглядом на жизнь как на сумму свойств органических веществ, вновь поднял свою голову витализм. Почему органические вещества

«ведут себя» в организмах иначе, чем вне их? У виталистов был на это готовый ответ: потому что внутри живых существ господствует особая «жизненная сила», которая не подчиняется физическим законам и не может быть познана на материалистических основах. Поэтому химия бессильна приблизить нас к познанию жизни.

В обстановке этих горячих споров между механицистами и виталистами начал свою исследовательскую работу Алексей Николаевич Бах. Как передовой общественный деятель и революционер, он сразу безоговорочно стал на путь материалистического познания жизни, но он видел, что своеобразие живого мира в химическом отношении заключается не только в особенности его состава. В значительно большей степени оно проявляется в тех бесконечно разнообразных химических превращениях, которые беспрерывно совершаются в живых организмах. Как выдающийся ученый-мыслитель, А. Н. Бах предвидел, что прогресс нашей науки лежит на пути изучения биохимических процессов и в течение всей своей жизни он не сходил с этого пути, всегда оставаясь убежденным, воинствующим представителем динамического направления в биохимии.

С самого начала своей исследовательской деятельности Бах сосредоточил все свое внимание на узловых проблемах динамической биохимии, на химизме тех основных жизненных процессов, суммарное установление которых XIX век получил в наследство от XVIII. Химизм ассимиляции и дыхания — вот те вопросы, которые сразу же привлекли к себе творческую энергию Алексея Николаевича. Он полностью воспринял те великие традиции динамического изучения живой природы, которые были завещаны гениями XVIII века, но воспринял их уже на новом, более высоком уровне знания. С одной стороны, данные органической химии, а с другой — учение о катализе, химической кинетике, сопряженных реакциях и т. д. позволили ему более глубоко разобраться в тех явлениях, которые происходят в организмах и служат основой жизненного процесса.

Углекислота и вода, сахар и кислород — это только конечные звенья длинных цепей химических превращений, лежащих в основе ассимиляции и дыхания. Чтобы, идя химическим путем, приблизиться к познанию жизни, нужно распутать тот сложный клубок превращений, который лежит в основе обмена веществ, нужно понять химический механизм этих превращений.


А. Бах

Существовавшие в то время теории ассимиляции не удовлетворяли Баха, и он начиная с 1885 г. стремится путем ряда систематических исследований познать этот процесс на новых основаниях. Он рассматривает ассимиляцию углекислоты не как результат ее раскисления путем отщепления молекулы кислорода, а как сопряженный окислительно-восстановительный процесс, происходящий за счет элементов воды. В результате этого образование восстановленных продуктов обязательно должно быть связано с образованием перекисей, в частности перекиси водорода. По мысли Баха, именно перекиси являются теми соединениями, в результате вторичного разложения которых образуется молекулярный кислород. Таким образом, возникающий в процессе ассимиляции кислород есть кислород воды, а не углекислоты — мысль, которая только недавно нашла свое полное экспериментальное подтверждение в работах с меченными атомами.

Не удовлетворяла Баха и голая аналогия между дыханием и горением. Эта аналогия не затрагивает внутреннего, интимного механизма дыхания. Ведь горение может осуществляться только при таких высоких температурах, которые полностью исключают возможность жизни. При обычных же температурах вне организма углеводы и белки не подвергаются окислению кислородом воздуха. Напротив, в живой клетке эти дыхательные материалы быстро окисляются до своих конечных продуктов. С нашей современной точки зрения это вполне понятно. Окисление молекулярным кислородом является реакцией, требующей огромной энергии активации, преодоления громадного энергетического порога. Значительно повышая температуру, мы увеличиваем общую кинетическую энергию молекул и тем создаем условия для преодоления этого порога. Низкие температуры принципиально исключают этот путь. Здесь осуществление процесса окисления может итти лишь обходной дорогой промежуточных реакций, дорогой, основанной на снижении энергии активации. Поэтому и невозможно понять механизм дыхания, исходя только из аналогии с горением. Путь к познанию дыхания лежит, по мнению Баха, в изучении так называемого «медленного горения» или самопроизвольного окисления.

Механизм этого окисления был разработан Бахом еще в начале 1897 г. в его труде «О роли перекисей в процессах медленного окисления». Энергия, необходимая для активации кислорода в процессе медленного

окисления, не получается извне, а доставляется самим окисляемым телом. Поэтому при обычных температурных условиях молекулярным кислородом могут окисляться лишь химически ненасыщенные, аутоксидабельные вещества, тогда как насыщенные остаются без изменения. Аутоксидабельные вещества, приходя в соприкосновение с кислородом, не расщепляют его молекулу на свободные атомы (как это думали раньше), а превращают ее в радикал, где только одна связь является разорванной. Указанный радикал и присоединяется к окисляемому телу. При этом неизбежно должны образовываться перекиси, которые, являясь весьма неустойчивыми и химически активными веществами, способствуют дальнейшему окислению.

Эта теория сразу же приобрела выдающееся общехимическое значение, которое она сохранила и до наших дней. Новейшие достижения физической химии, данные последних лет убедительно показывают, что перекисный механизм первых этапов окисления лежит в основе ряда разнообразных реакций: окисление неорганических соединений, окисление углеводородов, спиртов, альдегидов, ароматических веществ и т. д. Он лежит в основе теории холодного пламени, явлений детонации и используется в ряде других областей теоретической и прикладной химии. Но сам Бах видел важнейшее значение своей перекисной теории в том, что она позволила ему разобраться в химизме дыхания, приблизиться к познанию этого жизненного процесса.

Именно на этом этапе своих исследований Бах и встретился с учением о ферментах — с энзимологией, которой он посвятил большинство своих дальнейших работ.

Ферменты, или, как их позднее стали называть, энзимы, были открыты еще в первой половине прошлого века. Как мы теперь знаем, в любой живой клетке присутствует целый набор разнообразных ферментов, каждый из которых действует как специфический катализатор, во многие миллионы раз ускоряя ту или иную протекающую в протоплазме индивидуальную реакцию. Именно действием этих катализаторов в значительной степени и разрешается то противоречие, на которое мы указывали выше. В их отсутствие выделенные из живой клетки органические вещества претерпевают химические изменения лишь с очень малой скоростью, тогда как в протоплазме благодаря действию ферментов эти превращения происходят очень бурно. Таким образом, ферменты можно назвать двига-

телями биохимических процессов. Без ферментов нет жизни. Но мы можем выделить из растительных или животных тканей отдельные ферменты в виде более или менее очищенных препаратов, которые полностью сохраняют свое каталитическое действие и вне живой клетки. При их помощи мы можем в колбе или пробирке химика воспроизвести в изолированном виде отдельные специфические реакции, которые свойственны живой материи. Это позволяет нам изучать эти реакции во всех их деталях, устанавливать не только их химическое уравнение, но и кинетику, зависимость их скорости от температуры, кислотности, количества фермента и т. д.

Изучая ферменты, биохимик получил в свое распоряжение метод, позволяющий ему распутать сложный клубок превращений веществ внутри живой клетки, где сплетаются тысячи отдельных, индивидуальных реакций. Это был путь для анализа не веществ, составляющих живую материю, а тех процессов, которые в ней совершаются. Если раньше биохимические явления воспринимались только суммарно, по их общему внешнему выражению, устанавливались только начальные и конечные звенья обмена веществ, то с развитием учения о ферментах создалась возможность познать все промежуточные этапы этого обмена, установить химизм отдельных жизненных явлений. И одним из первых, кто стал на этот путь, был А. Н. Бах.

Он показал, что в основе дыхания лежит ряд ферментативных окислительных и окислительно-восстановительных реакций, последовательно сменяющих друг друга в длинной цепи химических превращений. Самопроизвольное окисление, как и все медленно протекающие процессы, доступно воздействию катализаторов, во много раз увеличивающему его первоначальную скорость. В организмах такими катализаторами являются окислительные ферменты, и на их изучении сосредоточил свое внимание Бах. Он выделил эти ферменты из большого числа разнообразных растительных объектов и подверг их препараты такой совершенной очистке, которую только позволяла существовавшая тогда лабораторная техника. Наряду с оксидазами, производящими окисление при помощи кислорода воздуха, Бах установил широкое распространение в растительном царстве и другого окислительного фермента — пероксидазы. Ее физиологическая роль до работ Баха представлялась совершенно загадочной, так как она окисляет только за счет перекиси водорода, а это соединение считалось веществом, не свойственным живой природе.

Однако, согласно Баху, на первых этапах витального окисления всегда должны образовываться перекиси в водной среде, дающие начало перекиси водорода. Как показал Бах, судьба этой перекиси водорода в живой протоплазме может складываться по-разному. В присутствии фермента каталазы перекись водорода разлагается на воду и инертный газообразный кислород. Напротив, при действии пероксидазы перекись используется для дальнейшего окисления. Поэтому Бах, много работавший как с тем, так и с другим ферментом, рассматривал каталазу и пероксидазу как двух антагонистов, конкурирующих в живой протоплазме из-за образующейся здесь перекиси водорода.

Когда впервые были открыты оксидазы, на них в биохимии возлагали очень большие надежды. Считали, что одним только наличием этих ферментов можно будет объяснить весь процесс дыхания. Но тщательно произведенные работы Баха показали, что ни оксидазы, ни пероксидаза не могут сами по себе окислять те органические вещества, которые являются дыхательными материалами (например, углеводы). Действие окислительных ферментов является строго специфичным. Оно направлено лишь на окисление таких аутоксидабельных веществ, как, например, полифенолы. Но какое же тогда значение имеют оксидазы в процессе дыхания? Многие авторы после указанных выше работ перешли в другую крайность и стали отрицать какое-либо значение этих ферментов при дыхании. По их мнению, оксидазы — это только защитные ферменты. Окисляя полифенолы, они образуют лаки, закрывающие места ранения у растения.

Но Бах не пошел по этому пути; он еще ранее предвидел, что дыхание не может являться каким-либо единичным химическим актом, а представляет целую цепь ферментативных превращений, где действие оксидаз служит лишь отдельным звеном. Другим, не менее важным звеном дыхательного процесса являются, по Баху, широко распространенные в живой природе окислительно-восстановительные реакции. При этих реакциях одновременно идет окисление одного вещества и восстановление другого. Специальный фермент, катализирующий эти реакции, был назван Бахом, по аналогии с пероксидазой, «пергидридазой», но впоследствии за такого рода ферментами утвердилось название «оксидоредуказы».

Эти-то ферменты и способствуют окислению дыхательного материала. Но одновременно с его окислением обязательно должно итти и восстановление, акцептирование освобождающегося при окислении водорода.

Вот здесь-то на первый план и выступают оксидазы. Они при помощи кислорода воздуха окисляют полифенолы, превращая их в хинонобразные вещества, являющиеся прекрасными акцепторами водорода. Они улавливают водород и восстанавливаются им до первоначального состояния, после чего могут вновь быть окислены при помощи оксидаз кислородом воздуха и таким образом вновь получить возможность акцептировать и удалить новую порцию кислорода. Аппарат, состоящий из окислительных ферментов и окисляемых им полифенолов, играет в дыхании роль акцептора водорода. При наличии таких акцепторов и соответствующих окислительно-восстановительных ферментов (оксидоредуказ) дыхательные материалы легко окисляются в живой клетке.

Эта сравнительно простая схема дыхательного процесса, лежащая в основе и современных взглядов на дыхание, могла быть создана Бахом лишь в результате многих десятков экспериментальных работ, осуществленных им еще за границей и посвященных изучению таких окислительных ферментов, как фенолаза, пероксидаза, тирозиназа, каталаза, оксидоредуказа и т. д.

Таким образом, Бах при своем возвращении на родину обладал уже колоссальным опытом энзимолога-экспериментатора. Но, как мы видели выше, к изучению ферментов он пришел, стремясь познать химические основы жизни. Для него ферменты были интересны не сами по себе, не как определенный химический феномен, а как ключ к познанию жизненного процесса. Этот принцип Бах положил в основу и тех работ, которые он организовал на советской почве.

В одной из первых опубликованных здесь работ он писал по этому поводу: «В последнее десятилетие, в связи с быстрым развитием энзимологии, все более и более выявляется та огромной важности роль, какую ферменты играют в жизни организмов. Более полувека назад гениальный Шёнбейн высказал мысль, что без содействия окислительных ферментов организм задохся бы в океане кислорода, как он задыхается в бескислородной среде. Тогда эта мысль казалась парадоксальной, но теперь едва ли кто станет оспаривать то положение, что между состоянием организма и работой его ферментов существует теснейшая связь, что всякое изменение в состоянии организма или вызывается, или сопровождается изменением в работе его ферментов, а это дает возможность переходить от одного рода явлений к другому — от изменения состояния организма

к изменению деятельности ферментов и обратно. Вполне очевидно, что точное знание этих взаимоотношений дало бы нам ответ на важнейшие вопросы физиологии и патологии, над разрешением которых бьется мысль исследователей».

Именно этой проблеме установления связи и зависимости между состоянием организма и работой его ферментов и посвящен первый, основной цикл исследований Баха и его учеников в Советском Союзе.

Используя свой большой предшествующий опыт работы с ферментами, Бах совместно со своими сотрудниками (Збарским, Михлиным, Энгельгардтом, Опариным и др.) разработал ряд методов, позволяющих определять активность ферментов в разнообразных растительных и животных объектах. Эти методы сыграли выдающуюся роль в развитии той области энзимологии, которая в учебниках и сводках обычно обозначается как «биология ферментов». В относящейся сюда обширной серии работ советскими исследователями было показано, что активность ферментов коренным образом изменяется как в зависимости от генетической природы организма, так и от его цикла развития и физиологического состояния.

В частности, для биологии ферментов животного организма особый интерес представляет разработанный Бахом (совместно с Зубковой) метод «количественного определения каталазы, протеазы, пероксидазы и эстеразы в капле крови». Изучение ферментных показателей крови по этому методу, предпринятое, с одной стороны, на лабораторных животных, а с другой — на крупном рогатом скоте, привело к обнаружению существования определенных типов животных по этому индексу, в известной мере подобных группам крови по агглютинации. Так, например, морские свинки, по данным Елизаровой, распадаются на три группы, у которых показатели каталазы относятся друг к другу как целые числа. Эти ферментные показатели передаются по наследству в пределах группы и при скрещивании проявляют себя как самостоятельные наследственные признаки. Позднее эта работа была продолжена и развита Елизаровой на растительных объектах (ячменях). Указанные исследования в дальнейшем послужили основой для работы генетиков и селекционеров, в руки которых был дан тонкий признак, удобно и точно учитываемый количественно.

Метод количественного определения фермента в капле крови позволил Баху в сотрудничестве с Иваницким-Василенко ежечасно учитывать

активность каталазы и протеазы в течение суток. Оказалось, что в крови животных и человека эта активность подвергается весьма существенным изменениям в зависимости от времени взятия проб для анализа. Этот установленный Бахом суточный ритм ферментативной активности имеет выдающееся общебиологическое значение. Впоследствии он был подмечен Рубиным в листьях сахарной свеклы, а в последние годы детально изучен Сисакяном на ряде растительных объектов.

Много внимания уделял Бах той связи, которая существует между активностью ферментов и иммунитетом, этой еще столь загадочной реактивной способности животного организма. Обнаружив, что продукты глубокого расщепления белка способны функционировать в качестве соучастников восстановительных процессов, катализируемых пергидразой, Бах вместе со Збарским построил на этом новый метод обнаружения и количественного учета продуктов распада белка. Одной из областей приложения этого метода явилось изучение тех изменений физиологического состояния организма, которые происходят в теле животного в процессе иммунизации бактериальными токсинами.

В сотрудничестве с Энгельгардтом, Збарским, Николаевым и др. Бах предпринял широкое изучение антиферментов, т. е. тех антител, которые вырабатываются в животном организме при иммунизации энзимами. Это, с одной стороны, углубило наше представление о взаимоотношениях ферментов с сопровождающими их «сопутствующими» веществами. С другой стороны, в области иммунологии использование ферментов в качестве антигенов привело к разработке принципиально новых приемов для изучения реакций между антигеном и антителом.

Широко разрабатывались Бахом и вопросы, связанные с биологией ферментов у растений. Эта серия исследований, проводившихся Бахом в сотрудничестве с Опариным, была начата работой «Об образовании ферментов в прорастающих зернах». Сам Бах так характеризовал задачу этой работы: «Для выяснения роли ферментов в экономике живого организма понимание их одновременного образования и совместной деятельности не менее существенно, чем знание свойств изолированных ферментов».

Переходящее от периода покоя к бурной жизнедеятельности прорастающее зерно является особенно удобным для таких исследований объектом. В дальнейшем в сферу изучения были включены и созревающие,

и покоящиеся семена. «Мы поставили себе задачей, — писал Бах, — проследить количественно движение ферментов в пшеничных зернах, начиная с образования семени, переходя через периоды созревания и покоя и кончая полным его прорастанием. Другими словами, мы пытались составить себе представление о ферментативной истории пшеничного растения с того момента, как оно начинало быть зерном, до того момента, когда оно перестало быть им».

Таким образом, здесь впервые было прослежено изменение активности ферментов в течение длительного периода развития, большого отрезка жизненного цикла растения. На этой основе был установлен ряд фактов, существование которых раньше трудно было даже предполагать. Оказалось, что ферменты не возникают первично в процессе прорастания семян (как это думали прежде). Они накапливаются еще при созревании (частично поступая в созревающее семя из материнского растения). Но в созревающем зерне происходит инактивирование ферментов, их переход в недеятельное состояние, с тем чтобы в процессе прорастания они вновь выявили свою мощную каталитическую деятельность.

Впоследствии Опариным было показано, что потеря гидролитической активности ферментов в созревающем зерне и в других растительных объектах происходит в результате адсорбции ферментов на клеточных структурах. Это чрезвычайно распространенное в живой природе явление лежит в основе регулирования ферментативного действия в живой клетке.

Изучение действия ферментов в живой клетке нашло особенно широкое развитие в организованном Бахом в 1935 г. Институте биохимии АН СССР. Здесь на этой основе создалось совершенно особое направление в энзимологии. Дело в том, что раньше действие ферментов изучалось лишь на изолированных препаратах или в тех автолитических смесях, которые получаются после разрушения живых клеток. Естественно, что при этом активность ферментов, свойственная тому или другому органу или ткани, существенно, иной раз коренным образом, изменялась.

Умело примененный Курсановым метод вакуум-инфильтрации позволил наблюдать действие ферментов и определять их активность и в неразрушенных живых растительных клетках. При этом удается устанавливать не только гидролитическую, но и синтетическую активность ферментов. В зависимости от адсорбционной способности клеточных структур соотношение между ферментативным синтезом и гидролизом может су-

щественно смещаться как в ту, так и в другую сторону. Работами большого коллектива научных сотрудников Института биохимии (Опарин, Курсанов, Сисакян, Рубин и др.) было показано, что именно это соотношение между синтезом и гидролизом, эта направленность ферментативного действия, определяет собой такие свойства растений, как их урожайность, сахаристость, скороспелость, устойчивость по отношению к морозу и к засухе.

В разных сортах и различных органах направленность ферментативного действия определяется прежде всего их прирожденными, генетическими особенностями. Но она не остается постоянной в течение всего жизненного цикла растения, а закономерно изменяется, испытывая как суточные колебания, так и сезонные и возрастные сдвиги. Кроме того, ее можно сместить и путем ряда искусственных воздействий, как, например, действием наркотиков, пониженной или повышенной температурой, созданием водного дефицита и т. д. Очень важно, что всегда параллельно с этим происходят соответствующие сдвиги и в физиологических свойствах подвергшегося данному воздействию растения.

Таким образом, руководимая Бахом советская энзимология достигла существенных успехов в деле познания химических основ жизненного процесса и установления той непосредственной роли, которая принадлежит здесь ферментам. На этой основе Бах выдвинул перед советской энзимологией новую, несравненно более сложную задачу. Он видел эту задачу в том, чтобы не только изучить ферменты, но и овладеть ими, научиться управлять их действием и этим по своему желанию изменять течение жизненного процесса, регулировать физиологические и хозяйственно важные свойства организмов в нужном нам направлении. Как мы видели выше, советские энзимологи уже вплотную подошли к этой задаче. Но практическое разрешение ее еще является делом будущего.

Однако в другом отношении, в другой области советская энзимология уже выполнила завет Баха и практически разрешила задачу управления ферментативными процессами. Здесь речь идет о применении энзимологии в технике, о так называемой «технологии ферментов», которая наряду с «биологией ферментов» представляет то поле, на котором особенно много потрудились советские энзимологи и где они достигли решающих успехов.

А. Н. Бах никогда не разделял науку на чистую и прикладную. Он часто повторял известное выражение Пастера, что нет никаких прикладных наук, а есть наука и ее применение. С жаром революционера и общественного деятеля Бах стремился возможно полнее и скорее использовать все достижения науки на благо родины и социалистического строительства. Еще в 1936 г. он писал: «Должен сказать, что у нас есть еще очень много хороших исследователей, научных работников, которые также считают, что нельзя теоретическую науку путать с прикладными науками, что теоретическая наука — это одно, а производство — это другое. Мы категорически возражаем против этого. Мы считаем, что в стране социалистического строительства теоретическая наука должна итти на помощь практике, потому что перед нашей страной стоят еще великие и трудные задачи, и нет никакого сомнения, что в тот или другой момент нам придется бороться с врагами. И поэтому наша обязанность — обязанность теоретической науки — всемерно содействовать развитию практического ее применения».

Именно работами советских энзимологов было установлено, что в основе ряда производств, имеющих дело с сырьем растительного или животного происхождения, в частности ряда производств пищевых и вкусовых веществ, лежат ферментативные процессы. При помоле зерна, томлении и сушке табака, выдавливании сока из виноградной ягоды, скручивании чайного листа на роллерах и т. д. живые клетки перечисленных объектов механически разрушаются, но заключенные в них ферменты сохраняют свою активность. В результате действия этих ферментов в различного рода производственных смесях (в тесте, в ферментирующемся чае и табаке, в пивоваренном сусле, в созревающем виноградном вине и т. д.) протекают те химические изменения, составляющие сущность технологического процесса, благодаря которым сырье превращается в готовый продукт, приобретает надлежащий вкус, цвет, аромат, устойчивость и т. д.

Раньше все указанные производства основывались на эмпирических основах, на многолетнем опыте мастера. Но такого рода положение удовлетворяло производство только до тех пор, пока оно находилось в зачаточном, полукустарном состоянии. В течение сталинских пятилеток наша пищевая и вкусовая промышленность изменилась до неузнаваемости. Вместо мелких кустарных промыслов возникли крупные механизирован-

ные предприятия. И с этим переходом промышленности на рельсы машинного производства старые навыки, которые получал мастер от своих предшественников, оказались недостаточными. Крупное механизированное производство с его поточной системой и жестким графиком требует точных знаний в области тех явлений, которые лежат в основе технологического процесса. Только при этих условиях можно сознательно управлять производством и давать стандартную высококачественную продукцию.

Советские энзимологи приняли активное участие в работе по созданию новой пищевой промышленности. Углубленные знания ферментативных процессов позволили им расшифровать производственную роль каждого их тех ферментов, которые действуют в перерабатываемом сырье. Таким путем они дали в руки технологам практические методы для усиления полезных и ослабления вредных процессов, для контроля производства и сознательного его регулирования. На этой основе был реконструирован целый ряд отраслей пищевой промышленности. Мы приведем здесь лишь несколько примеров.

Основные курительные свойства табака приобретаются им в процессе так называемой «ферментации». Высушенные табачные листья, сложенные в тюки, оставлялись прежде лежать на складах в течение года (а иной раз и больше); при этом они подвергались саморазогреванию и в них происходили нужные химические превращения. В чем состоял этот процесс «ферментации», никто не знал. Он протекал стихийно и нередко приводил к порче ценного сырья. А. И. Смирнов, на основе данных Баха по окислительным ферментам, подверг этот процесс детальному изучению и показал, что он происходит в результате действия ферментов, заключенных в самом табачном листе. Изучив свойства этих ферментов и установив условия их оптимального действия (температуру и влажность), он предложил вести ферментацию не на складах, а в специально устроенных камерах, где создаются надлежащие условия для действия ферментов. Таким путем удается искусственно управлять ферментативными реакциями и получать высококачественный табак в течение нескольких недель в любое время года. Сейчас в Советском Союзе уже никому в голову не придет ферментировать табак старым, кустарным способом. Вся наша продукция выпускается из специальных ферментационных заводов, работа которых основывается на данных Смирнова.

Аналогичное положение мы имеем и в чайной промышленности. При производстве чая молодой, слегка завяленный лист чайного куста подвергается скручиванию на особых машинах — роллерах. Полученная таким образом влажная масса начинает бурно «ферментировать». За несколько часов она приобретает коричневую окраску, надлежащий вкус и аромат — вообще превращается в готовый чай, который нужно только в дальнейшем высушить в специальных печах. Опариным, в сотрудничестве с Курсановым и другими научными работниками Института биохимии АН СССР, было показано, что сущность процесса ферментации чая сводится в общих чертах к следующему: при скручивании раздавливаются живые клетки листа и нарушается та последовательность, та координация окислительных и окислительно-восстановительных процессов, которая лежит в основе дыхания живого листа. В результате этого ферментному окислению начинают подвергаться дубильные вещества, что и создает надлежащие вкусовые и ароматические качества продукта. На основании этой энзимологической теории чайного производства были разработаны методы его рационального объективного контроля. Их применение на чайных фабриках СССР позволило сознательно управлять технологическим процессом и значительно улучшить качество нашей продукции.

Несколько слов о той роли, которую сыграла энзимология в хлебопекарной промышленности. Как мы видели выше, покоящееся зерно всегда содержит в себе некоторое количество активных ферментов. При помоле зерна эти ферменты переходят в муку и при ее смешивании с водой обусловливают ряд химических превращений, совершающихся в тесте при его стоянии. В зависимости от тех изменений, которым подвергаются белки и крахмал муки, меняются и физические свойства теста — его упругость, вязкость, эластичность, водоудерживающая способность и т. д.

К моменту посадки теста в печь в нем должны произойти совершенно определенные изменения белков и углеводов. Если указанные изменения не успели произойти, хлеб получается плохой, но точно так же, если они зашли слишком далеко, результат получается отрицательный. В зависимости от различного содержания отдельных ферментов в тесте процессы изменения крахмала и клейковины идут с различной скоростью, и технолог должен каким-то образом уловить нужный момент, чтобы получить хорошие результаты. Однако на практике это далеко не всегда удается.

Как показали исследования Баха и Опарина, количество ферментов

в зерне, а следовательно и в получаемой из него муке, зависит не только от сорта зерна, но и от степени его зрелости, года и места урожая и т. д. Разные партии муки содержат поэтому неодинаковое количество ферментов и требуют для своей переработки различных технологических схем. На практике этого стремятся избежать, смешивая отдельные партии муки и составляя так называемые «валки». Однако составление этих «валок» вслепую далеко не всегда приводит к желаемым результатам, в особенности при наличии муки с резко пониженными хлебопекарными качествами.

Углубленное изучение ферментов зерна и муки позволило значительно рационализировать процесс хлебопечения. Мы сейчас располагаем методами, позволяющими заранее определить ферменты в данной партии муки и поэтому ставить диагноз в отношении ее хлебопекарных качеств, в отношении того, как она себя поведет в процессе хлебопечения. На основании этого диагноза можно уже сознательно составлять «валки» муки и при помощи ряда технологических приемов даже из муки с пониженными хлебопекарными качествами получать хороший хлеб.

Мы здесь приводим лишь несколько примеров, но число их можно было бы значительно увеличить, указав на ту помощь, которую принесли советские энзимологи виноделию, витаминному и консервному производствам и т. д. Тесная связь советской энзимологии с запросами жизни позволила нашим ученым быстро перестроить свою работу в обстановке военного времени, включиться в общую борьбу, которую победоносно вела наша страна с ненавистными захватчиками, и принести в этой борьбе реальную помощь Родине.

В прошлом году советская энзимология лишилась своего основоположника и руководителя. Бах умер. Но дело его — учение о ферментах — продолжает бурно развиваться на советской почве во славу нашей науки и на благо нашей Родины.

Член-корреспондент АН СССР
Э. А. Асратян

УЧЕНИЕ И. П. ПАВЛОВА О ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Великая Октябрьская социалистическая революция, как исторический рубеж, разделила на два, примерно, равных периода те 35 лет кипучей научной деятельности Ивана Петровича Павлова, в течение которых он создал свое стройное и монолитное материалистическое учение о высшей нервной деятельности, являющееся жемчужиной всего его многогранного научного творчества, одним из самых замечательных достижений естествознания текущего столетия. Очень трудно, в соответствии с этими двумя периодами, по формальным признакам или по существу, точно размежевать экспериментальную и теоретическую работу Павлова, лежавшую в основе его целостного и единого учения, а тем более — самое учение. Такая разделительная линия может быть проведена лишь весьма условно, так как долголетний научно-творческий процесс по созданию различных простых и сложных элементов единого учения, начиная с описания условного рефлекса и кончая концепцией о второй сигнальной системе действительности, не протекал строго последовательно и равномерно во времени, а подчас имел даже зигзагообразный ход. По этой причине, а также в целях создания у читателя цельного представления об учении Павлова, мы решили в настоящем кратком изложении его сущности воздержаться от попыток проведения такой линии и вообще ориентироваться не столько на хронологическую последовательность развития составных

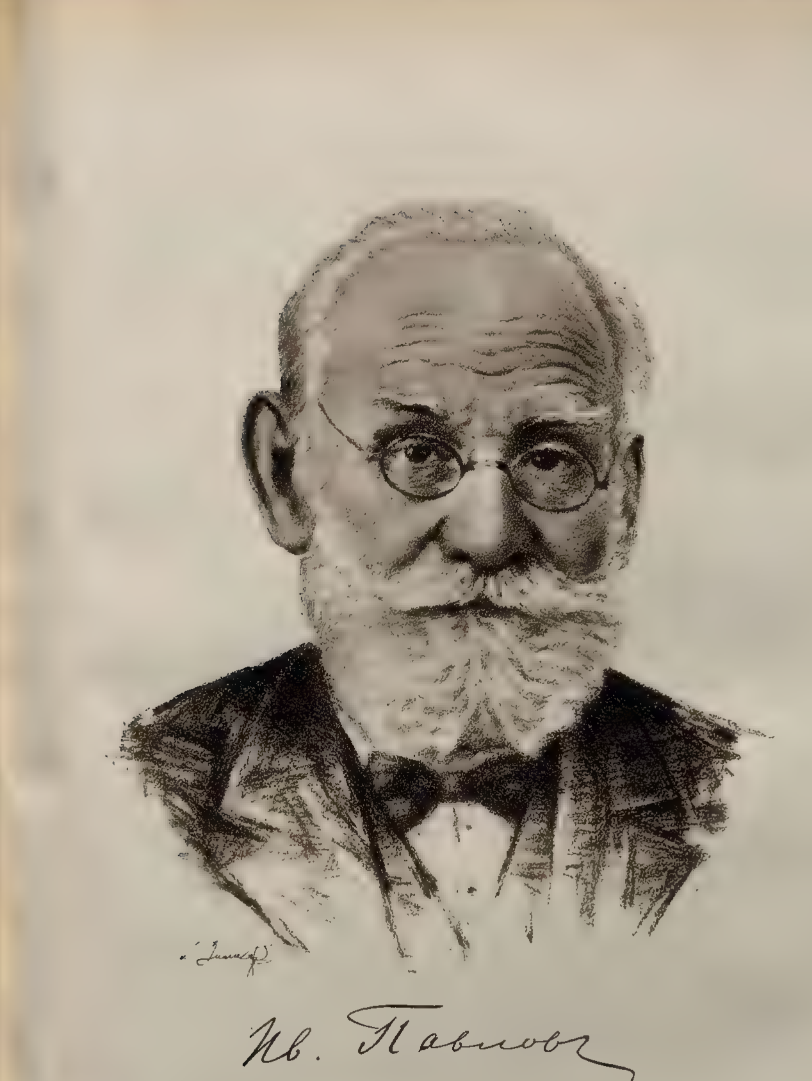
частей учения, сколько на требования возможно доступной и логически стройной его зарисовки. Учтя, однако, специальный характер и назначение очерка, мы все же сочли необходимым предпослать ему некоторые вводные замечания по затронутому вопросу, а также заключить его раздельным ориентировочным перечнем вопросов и проблем по высшей нервной деятельности, разработанных Павловым как до революции, так и в советский период.

Известно, что в трудных условиях царского режима Павлов был лишен возможности вести полноценную экспериментальную работу в этой новой и важной области биологии в широких масштабах, хотя жизненность созданного им нового направления и плодотворность нового метода исследования функций большого мозга стали совершенно очевидными в первые же годы их зарождения. Только сверхчеловеческие усилия великого мастера физиологического эксперимента и неутомимого борца за прогресс и честь отечественной науки могли в подобных условиях работы обеспечить накопление значительного фактического материала, давшего Павлову возможность еще до революции произвести некоторые предварительные теоретические обобщения, заложить фундамент учения и начертать основные его контуры.

Октябрьская революция открыла новую эру для плодотворной научно-творческой работы гениального ученого, для бурного развития его исследований по физиологии и патологии большого мозга. Заботами советского правительства Павлову были созданы все необходимые условия для ведения научно-исследовательской работы в том объеме, как он об этом мечтал ранее. И гениальный мыслитель, несмотря на свой преклонный возраст, в послеоктябрьский период своей работы добился изумительных результатов. Во-первых, Павлов неизмеримо расширил и укрепил фактическую основу сделанных им раньше предварительных теоретических обобщений, а также значительно уточнил, углубил и усовершенствовал их. Во-вторых, он накопил огромный, разнообразный и новый фактический материал, охвативший иные стороны деятельности большого мозга и послуживший основанием для развития новых теоретических положений. Наконец — и это самое главное — Павлов осуществил высший синтез результатов многолетней работы своей школы в этой области, воздвигнул величественное здание своего бессмертного учения о высшей нервной деятельности. Поэтому смело можно сказать, что учение Павлова

является, в основном, достижением советского периода развития русской науки.

К началу работы Павлова над труднейшей в науке проблемой высшей нервной деятельности, т. е. к началу XX столетия, последовательным трудом большого числа ученых XVII, XVIII и в особенности XIX столетия, изучавших мозг в самых различных аспектах, было уже бесспорно установлено, что психическая деятельность есть функция высших отделов центральной нервной системы. Однако существовавшие тогда приемы физиологического изучения функций мозга — частичная или полная экстирпация его коры, раздражение последней в условиях грубого вивисекционного или более совершенного хронического эксперимента— дали возможность накопить фактический материал, достаточный лишь для схематического определения и внешней характеристики этой важной роли большого мозга в организме, а также для ориентировочных суждений относительно локализации функций в его коре и возбудимости ее клеток. Другие биологические и клинические приемы исследования мозга ничего существенного к этой картине не прибавили. Не был найден еще путь к познанию того, каким образом выполняется эта важнейшая роль, каковы закономерности деятельности мозга, какие процессы лежат в основе этой деятельности, какова природа и динамика этих процессов, иначе говоря — какова подлинная, живая физиология большого мозга. Распространенные среди передовых биологов и физиологов XIX столетия взгляды относительно рефлекторной природы работы большого мозга (Гризингер, Дарвин, Гексли, Сеченов и др.), какими бы они ни были прогрессивными и оригинальными, все же оказались не в силах приостановить перерастание методического кризиса в методологический, так как они имели созерцательный характер, лишены были солидного и непосредственного экспериментального основания. Физиологи были даже в некотором замешательстве. Выразительную характеристику этого состояния застоя в физиологии того времени дал Павлов. Он с горечью констатировал тогда, что «физиология высшего мозга находится сейчас в тупике», что в ней «идейно нового очень мало». «Можно с правом сказать, — говорил он далее, — что неудержимый со времен Галилея ход естествознания впервые заметно приостанавливается перед высшим отделом мозга или, вообще говоря, перед органом сложнейших отношений животных к внешнему миру: казалось, что это — недаром, что здесь действительно


Ив. Павловъ

критический момент естествознания, так как мозг, который в высшей его формации — человеческого мозга — создавал и создает естествознание, сам становится объектом этого естествознания» («Двадцатилетний опыт...», 1938, стр. 111).

Застой в научном исследовании функций большого мозга не мог не способствовать созданию благоприятной атмосферы для расцвета всевозможных идеалистических и виталистических воззрений на предмет, не мог не оживить лагерь реакционеров в науке, изгнанных из многих других областей естествознания и нашедших было приют в идеалистической по существу психологии и зоопсихологии того времени.

Такова в общих чертах предистория учения Павлова о высшей нервной деятельности.

Весьма поучительна и интересна также живая история научно-творческой жизни самого Павлова, приведшая его непосредственно к исследованию физиологии большого мозга.

Вся прежняя долголетняя и плодотворная исследовательская работа Павлова по физиологии органов кровообращения, пищеварения и других систем была насквозь проникнута «нервизмом»; главная цель, которую он постоянно и ревностно преследовал при этом, заключалась в выявлении закономерностей нервной регуляции деятельности изучаемых органов и систем. Поэтому обращение Ивана Петровича к физиологии большого мозга можно рассматривать как логическое завершение естественного развития этого «нервизма», этой специфической «окраски» или «тона» его научных интересов. Непосредственным поводом, «мостиком» и даже толчком к историческому переходу Павлова к физиологии большого мозга послужило одно любопытное явление в деятельности пищеварительных желез, на которое он наталкивался еще в начале 90-х годов прошлого столетия при исследовании физиологии желудочной секреции: у собак с желудочной фистулой желудочный сок выделялся не только при еде, но и при одном виде пищи. В те годы Павлов еще смог отложить детальное физиологическое исследование этого «психического возбуждения» желудочных желез и даже удовлетворился его трактовкой с позиций субъективной психологии. Вторично Павлов встретился с этим явлением спустя несколько лет, при исследовании физиологии слюнных желез: у собак слюна выделялась при показе знакомой им пищи, а также при показе пробирки, из которой вливался им в рот разбавленный раствор кислоты.

Явление «психического возбуждения» слюнных желез настолько часто и настойчиво давало знать о себе в повседневных исследованиях Павлова, что становилось постепенно помехой в его работе. На этот раз Павлов уже «не мог откладывать исследований этих явлений», не мог заглушить в себе нараставшую волну сомнений относительно правильности прежнего их названия и трактовки.

Внимание Павлова и центр тяжести его исследовательской работы с незаметной постепенностью переносится в новую, пленительно интересную область биологических явлений. Избранный первоначально Павловым трафаретный путь субъективно-психологической трактовки явления постепенно перестает удовлетворять его. Он все более убеждается в тщетности и бесплодности попыток проникнуть во внутренний мир животных, угадать их чувства, желания, мысли и переживания; в невозможности пролить свет на субъективный мир животных через призму субъективного же мира человека, понять «нутро» этих интересных явлений посредством антропоморфических сравнений. Ведь явление «психического возбуждения» слюнных желез («слюнки текут») в отношении человека было известно с незапамятных времен, привлекало специальное внимание Уитта и других ученых еще в середине XVIII столетия, и, однако же, оно с этих позиций психологии не было по-настоящему понято и не было превращено в орудие познания более сложных психических явлений. Но тогда на какой же стать путь? «После настойчивого обдумывания предмета, — писал Павлов, — после нелегкой умственной борьбы я решил, наконец, перед так называемым психическим возбуждением остаться в роли чистого физиолога, т. е. объективного внешнего наблюдателя и экспериментатора, имеющего дело исключительно с внешними явлениями и их отношениями» (там же, стр. 13).

Дело не ограничилось спокойным отречением Павлова, в его исследовательской работе, от психологии как от науки. Вскоре в нем появилось и стало неудержимо расти чувство непримиримой вражды к этой неоправдавшей себя «союзнице физиологии». Бесспорно, в этом отходе Павлова от психологии сказывалось и мировоззрение его. Будучи убежденным материалистом, он считал, что в те времена психология была насквозь проникнута идеализмом, не дозрела еще до степени точной науки, не имела еще ясной теории и четкого исследовательского метода. Поэтому бесполезно физиологу — представителю достаточно точной и зрелой науки,

приверженцу материалистической рефлекторной теории нервной деятельности — прибегать к помощи такой именно психологии для подлинно научного разрешения сложных вопросов относительно нервной деятельности.[1] Более того, Павлов считал, что физиология большого мозга потому тогда отставала и даже зашла в тупик, что «физиолог в данном пункте оставил твердую естественнонаучную позицию» и стал на «фантастическую и научно бесплодную позицию» субъективной психологии. Отсюда Павлов сделал логический вывод. «При таком положении дела, — говорил он, — здравый смысл требует, чтобы физиология вернулась и здесь на путь естествознания. Что же она должна делать в таком случае? При исследовании деятельности высшего отдела центральной нервной системы ей надлежит остаться верной тому же приему, каким она пользуется при изучении низшего отдела, т. е. точно сопоставлять изменения во внешнем мире с соответствующими им изменениями в животном организме и устанавливать законы этих отношений» (там же, стр. 113).

Началось дело с переоценки явления злополучного психического слюноотделения под новым углом зрения. Не трудно было убедиться и убедить других, что этому явлению присущи все основные черты рефлекса, т. е. ответного действия организма на раздражение какой-нибудь его части, осуществляемого через нервную систему. Когда вид пищи или пробирки с кислотой вызывает у собак секреторную деятельность слюнных желез, точно так же как если бы в ее рот попадала пища или кислота, то, называя ответное действие слюнных желез во втором случае рефлексом, не было никаких оснований не называть это действие в первом случае тем же физиологическим термином. В силу того, однако, что новый вид рефлекса во многих отношениях существенно отличается от ранее известных, в частности — в очень сильной степени зависит от разнообразных условий эксперимента и жизни животного вообще, то он был

[1] Такое резко отрицательное отношение Павлова к психологии сохранилось без существенных перемен в течение длительного времени, хотя в области самой психологии того времени происходили значительные перемены. Еще в 90-х годах прошлого столетия в сравнительной психологии появилось и довольно быстро выросло материалистическое, в основном, течение, стремящееся исследовать поведение животных возможно более объективными приемами (Леббок, Морган, Торндайк, Леб, Бера, Бете, Икскюль и др.). Узнав об этом позже, Павлов не преминул отдать инициаторам этого течения дань уважения и оценить их работу по достоинству.

69*

назван Павловым условным рефлексом (ради четкости другие рефлексы были им названы безусловными).

Могло казаться на первых порах, что ничего необыкновенного, а тем более нового не было в этом переименовании «психического возбуждения» в «условный рефлекс». Ведь считали же, задолго до Павлова, Гризингер, Гексли и в особенности Сеченов, что психическую деятельность можно свести к сложным рефлексам.

Но необыкновенное и новое в работе Павлова не заставило себя долго ждать.

Передовые естествоиспытатели середины и конца XIX столетия искусно использовали свои смелые идеи о рефлекторной природе психической деятельности человека для построения прогрессивных и глубоких теоретических схем и концепций, превратили их в острый инструмент и для полезной кабинетно-литературной теоретической работы, и для ведения страстной научной полемики с представителями реакционных течений в психологии. В этом величие их заслуг перед наукой. Но как бы ни были смелы, прогрессивны и заманчивы их схемы, воззрения и высказывания относительно рефлекторной природы психической деятельности животных и человека, они все же носили абстрактный, созерцательный характер, не имели необходимой действенной силы, далеки были еще от степени конкретного научно-исследовательского метода. Достаточно сказать, что почти за полвека существования этих взглядов и схем они не нашли почти никакого реального отражения в текущей экспериментальной работе по физиологии большого мозга ни у нас, ни за границей.

Все это в значительной степени относится и к наиболее выдающемуся, глубокому и последовательному из этих исследователей, идейному предшественнику Павлова — гениальному Сеченову, автору знаменитой работы «Рефлексы головного мозга», вышедшей в 1863 г., в которой, по словам Павлова, «была сделана — и внешне блестяще — поистине для того времени чрезвычайная попытка (конечно, теоретическая, в виде физиологической схемы) представить себе наш субъективный мир чисто физиологически» (там же, стр. 13), которая, иначе говоря, «в ясной, точной и пленительной форме» содержала «основную идею того», что много позже стало предметом долголетних исследований самого Павлова.

В отличие от своих предшественников, Павлов превратил свой «условный рефлекс» прежде всего в черновое рабочее орудие для живого физиоло-

гического эксперимента и вскоре установил, что условный рефлекс представляет самый типичный вид деятельности большого мозга, является тем основным звеном в цепи его сложных закономерностей, ухватившись за которое можно будет поднять всю цепь. Давно известное, казалось бы даже банальное, явление «психического слюноотделения» приобрело в руках Павлова необычайную силу от нового, физиологического его понимания и осмысливания, открыло широчайшие горизонты для научно-исследовательской работы по физиологии большого мозга, стало краеугольным камнем принципиально нового физиологического метода исследования функции большого мозга, метода условных рефлексов. А ведь по Павлову «для натуралиста — все в методе». Спустя всего несколько лет после начала работы по новому методу и в новой области он должен был восторженно констатировать, что «для работающего в этой области одно из частых чувств — это изумление перед прямо невероятным могуществом объективного исследования в этой новой для него области сложнейших явлений» (там же, стр. 122).

Был найден чудесный ключ к раскрытию сокровенных тайн работы большого мозга, и Павлов с присущим ему беспримерным мастерством и изяществом использовал его на протяжении 35 лет, чтобы создать истинную физиологию большого мозга.

Созданный Павловым новый метод и разработанные на его основе новые технические приемы физиологического эксперимента для изучения функций большого мозга характеризуются следующими главными особенностями. Исследование проводится на животном (обычно — собаке) при обычных условиях его жизни, при естественной динамике работы большого мозга, нормальных взаимосвязи и взаимодействии последнего со всеми остальными частями центральной нервной системы и вообще всего организма. Ничтожный элемент искусственности в методике заключается лишь в том, что подопытное животное во время эксперимента изолируется в отдельной комнате или даже в специальной толстостенной кабине, способной в совершенстве изолировать его от экспериментатора и от хаотического действия всевозможных посторонних воздействий, но дающей экспериментатору возможность при помощи некоторых технических устройств видеть животное, слушать его голос, по усмотрению привести в действие тот или иной раздражитель внутри камеры, вызвать те или иные условные или безусловные пищевые, оборонительные

и другого рода рефлексы, точно и объективно учесть и регистрировать количественные и качественные их особенности и т. п.

На протяжении многих лет основное внимание Павлова было сконцентрировано на всестороннем и детальном экспериментальном исследовании особенностей условного рефлекса — этой функциональной единицы, этого основного, наиболее характерного вида деятельности большого мозга, универсального «кирпича» высшей нервной деятельности. Точными фактическими данными были установлены следующие основные положения, относящиеся к этому вопросу.

1. Условные рефлексы, в отличие от безусловных, не являются врожденным и наследственно передаваемым видом нервной деятельности, а вырабатываются в процессе индивидуальной жизни и не передаются по наследству. Эта особенность настолько характерна для условных рефлексов, что их можно назвать индивидуальными или индивидуально приобретенными. Одним из наиболее ярких и убедительных доказательств правильности этого положения является следующий пример. Щенки были выращены на одном только молочном питании до определенного возраста. После выведения протоков слюнных желез были поставлены специальные опыты, которые установили, что у щенков условно-рефлекторное слюноотделение вызывает только показ молока; показ других, еще не знакомых им пищевых продуктов, в том числе мяса и хлеба, не вызывает слюноотделения. Но стоило один-два раза покормить щенков хлебом и мясом, чтобы после этого один только показ этих продуктов стал вызывать условно-рефлекторное слюноотделение.

2. Физиологической базой для образования условного рефлекса является безусловный рефлекс. Для получения условного рефлекса на какой-нибудь посторонний для данного безусловного рефлекса раздражитель необходимо, чтобы действие последнего на организм несколько раз совпало во времени с действием раздражителя безусловного рефлекса, точнее — с активным состоянием безусловного рефлекса. Правильность этого положения с особой убедительностью выявляется на примере выработки так называемых искусственных пищевых слюноотделительных условных рефлексов, т. е. условных рефлексов на всевозможные такие раздражители, которые не имеют никакого отношения ни к пищевым продуктам, ни к деятельности пищеварительных органов, являются случайными и посторонними для них, — на зажигание электрической лам-

почки, звук звонка, удары метронома, прикосновение к коже животного и т. п. Чтобы превратить какой-нибудь из этих раздражителей, скажем, зажигание лампочки, в условный раздражитель для пищевой слюноотделительной деятельности животного, необходимо несколько раз сочетать зажигание лампочки с кормлением животного. Лишь после этого одно только зажигание лампочки вызывает такое же слюноотделение, как и самая пища, т. е. как бы превращается в заменитель или сигнал пищи. Точно таким же образом могут быть превращены в условные раздражители или сигналы любые другие посторонние или индифферентные для пищевой деятельности раздражители, если только они воспринимаются каким-нибудь из внешних органов чувств или даже чувствительными нервами и приборами мышц, суставов и внутренних органов.

3. Сочетание действия постороннего раздражителя с безусловным рефлексом является обязательным условием не только для образования условных рефлексов, но и для сохранения их. При нарушении этого основного условия в какой бы то ни было форме даже давние и крепкие условные рефлексы постепенно ослабевают и исчезают. Например, это происходит тогда, когда несколько раз подряд показывают собаке пищу, но не дают ей поесть, когда через некоторый интервал многократно зажигают пищевой условный сигнал — свет и не подкрепляют его пищей и т. п. К тем же результатам приводят и другие формы нарушения упомянутого выше основного условия образования и сохранения условных рефлексов. Все эти данные в совокупности свидетельствуют об одной из важнейших и характернейших особенностей условных рефлексов — об их временности.

Интересно отметить, что самое исчезновение условных рефлексов также носит временный характер: в одних случаях они восстанавливаются самостоятельно спустя некоторое время после исчезновения, в других для достижения этой цели вновь прибегают к некоторому числу сочетаний условного раздражителя с безусловным рефлексом или к иным манипуляциям.

4. Повелительная зависимость условных рефлексов от их сочетания или несочетания с безусловными не полно, но достаточно четко характеризует и другую важную их особенность — крайнюю их обусловленность, исключительную хрупкость, ранимость. Условные рефлексы в неизмеримо большей степени, чем безусловные, зависят от разнообразных условий и факторов внелабораторной и внутрилабораторной жизни подопытного животного, от состояния его здоровья, от качества ухода за ним

от более или менее значительных перемен в привычной экспериментальной обстановке и т. п. Под воздействием каждого из этих факторов или группы факторов условные рефлексы то быстро, то медленно ослабевают или исчезают на более или менее длительный период времени.

Павлов считал, что эта чрезвычайная обусловленность нового вида рефлексов характеризует их ярче всех тех особенностей, о которых шла речь выше. По этой причине он и назвал их «условными рефлексами».

5. Условный рефлекс отличается от безусловного также следующим. Каждый безусловный рефлекс вызывается сравнительно ограниченным числом специфических или, как говорят, адэкватных раздражителей, и только тогда, когда эти раздражители действуют на какой-нибудь один определенный орган чувств или на участок кожной поверхности. Например, слюноотделительный пищевой безусловный рефлекс может быть вызван только пищевыми веществами и только тогда, когда они будут находиться в ротовой полости. Условному рефлексу чужды эти ограничения: чтобы вызвать условный рефлекс, не требуется ни адэкватности раздражителя, ни специфического воспринимающего поля его приложения. Отсюда — неограниченный диапазон сигнальной или условно-рефлекторной деятельности в противоположность весьма ограниченному диапазону безусловно-рефлекторной. Если продолжать оперировать примером пищевого слюноотделительного рефлекса, чтобы проиллюстрировать этот контраст, то следует только напомнить, что любой раздражитель, способный возбуждать любой орган чувств, может стать пищевым условным раздражителем и, значит, вызвать условно-рефлекторное слюноотделение.

6. Между безусловными и условными рефлексами существует еще одно важное отличие, заключающееся в разной локализации их центральных станций. В то время как безусловные рефлексы осуществляются всеми отделами центральной нервной системы, способность к образованию условных рефлексов и к осуществлению условно-рефлекторной деятельности свойственна лишь самым высшим отделам центральной нервной системы. У собак и у других высших животных условно-рефлекторная деятельность является исключительной (или почти исключительной) функцией коры большого мозга. После возможно полного оперативного удаления последней все ранее существовавшие условные рефлексы у собаки бесследно и безвозвратно исчезают, и она теряет способность образовывать новые. Так обстоит дело у высших млекопитающих животных.

У других животных, кора большого мозга которых либо развита слабо, либо почти вовсе отсутствует, условно-рефлекторная деятельность осуществляется теми частями центральной нервной системы, которые являются у них высшими.

На основании этих фактических данных Павлов построил примерно следующее представление о тонком механизме образования условных рефлексов, точнее — о картине сдвигов в центральной нервной системе при образовании условных рефлексов. При раздельном действии на организм двух раздражителей — скажем, постороннего света *С* и безусловного пищевого *П* — раздельно возбуждаются те органы чувств, к которым адресованы эти раздражители (глаз и вкусовой аппарат). Волны возбуждения из каждого органа чувств специальными нервными путями раздельно передаются в соответствующие нервные центры головного мозга — скажем, в центры *с* и *п* — и, отражаясь в них, по другим нервным путям, также раздельно, направляются к соответствующим внешним или внутренним рабочим органам *М* и к слюнным железам *Ж*. Осуществляется, таким образом, два простых или врожденных рефлекса — ориентировочный и безусловный, со своими обособленными нервными механизмами или рефлекторными дугами: $С \to с \to М$ и $П \to п \to Ж$. При совпадении во времени действия этих двух раздражителей на организм происходит нечто совершенно необычайное: между одновременно возбужденными центрами головного мозга *с* и *п* устанавливается или замыкается новая связь, прокладывается новый нервный путь, мостик, способный провести возбуждение преимущественно от слабо возбужденного центра к сильно возбужденному: $с \to п$. Не трудно догадаться, что после установления такого контакта между центральными звеньями двух врожденных рефлексов волна возбуждения при зажигании света побежит не только по маршруту $С \to с \to М$, но и $С \to с \to п \to Ж$, т. е. от зрительного центра по мостику перекинется к пищевому, а от последнего — к слюнной железе. При повторных сочетаниях постороннего и безусловного раздражителей эта новая связь усиливается, закрепляется и стабилизируется. Этот кусочек временной связи и есть основа основ условных рефлексов, которые можно назвать также и замыкательными рефлексами.

Хотя с помощью достоверных физиологических фактических данных бесспорно установлено возникновение и существование этого замыкания, всесторонне изучены функции и особенности временной связи, тем не

менее о ее природе и структуре пока ничего достоверно не известно. Окончательно не решен также вопрос и о локализации этой связи. Первоначально Павлов предполагал, что у собак условная связь замыкается между центром постороннего раздражителя в коре большого мозга и пищевым центром в продолговатом мозге. Позже, на основании некоторых новых косвенных данных, он считал более вероятным предположение, что условное замыкание целиком происходит в пределах коры большого мозга — между центром постороннего раздражителя и корковым представительством пищевого центра.

Из сказанного следует, что с точки зрения своей физиологической роли и значения условный рефлекс является как бы средством регуляции или высшей интеграции функций организма. С образованием каждого нового условного рефлекса кора большого мозга все больше и больше расширяет сферу высшей интеграции сложнейших функций организма, раздвигает границы своей могучей власти над этими функциями. А как велики возможности коры в этом отношении, — свидетельствуют следующие точные фактические данные.

Условный рефлекс может быть выработан не только на отдельные раздражители, воспринимаемые каким-нибудь из внешних органов чувств или чувствительных элементов мышц, сухожилий, суставов и внутренних органов, но также и на комплекс из двух, трех и большего числа раздражителей, пущенных в ход одновременно или в известной последовательности, а вслед за тем подкрепленных безусловным рефлексом. Эти условные рефлексы называются комплексными. Далее, условным раздражителем может стать время. Если, например, подавать собаке пищу через каждые 10 минут, не сопровождая это никакими раздражителями, то со временем после каждой кормежки появляется условное слюноотделение при приближении очередной 10-й минуты. Новые условные рефлексы могут быть выработаны не только непосредственно на основе безусловного рефлекса, но также и на основе уже имеющегося сильного и крепкого условного же рефлекса. В этих целях не очень сильный посторонний раздражитель некоторым особым образом сочетается с таким условным рефлексом. Вновь выработанный условный рефлекс называется условным рефлексом второго порядка. Таким же способом нередко удается выработать и условный рефлекс третьего порядка. Не трудно догадаться, что эти так называемые высшего порядка условные рефлексы

также, в конечном итоге, основываются на соответствующем безусловном рефлексе.

В лабораториях Павлова деятельность слюнной железы использовалась как основной индикатор для изучения условно-рефлекторной деятельности животных, и не только по известной традиции, а и по той причине, что слюнная железа, в силу скромной своей роли в организме, небольших связей с другими органами и системами, простоты закономерностей своей деятельности и т. п. особенностей, оказалась для этой цели чрезвычайно тонким, точным и гибким индикатором. А ведь в действительности слюноотделительный безусловный рефлекс на пищу является лишь одним из большого числа секреторных и моторных рефлексов органов пищеварительной системы и даже других систем. При сочетании какого-то постороннего для пищевой деятельности раздражителя с актом еды вырабатывается условный рефлекс не только на специально наблюдаемую нами деятельность слюнной железы, но и на всю эту сложную и многочисленную гамму специально нами не наблюдаемых рефлексов других органов и систем. В соответствующих опытах эти рефлексы легко выявляются и изучаются.

Далее, на базе любого из многочисленных и разнообразных безусловных рефлексов на деятельность любого органа, может быть выработан условный рефлекс. Так, уже выработаны и изучены условные рефлексы на рефлекторную деятельность желудочных желез, печени, почек, селезенки, потовых желез, сердца и сосудов и ряда других внутренних органов, на двигательно-оборонительный рефлекс конечности, вызванный электрическим ее раздражением, на деятельность дыхательных мышц и т. п.

Поражает и восхищает возможность образования условных рефлексов или реакций на целый ряд тончайших и специальных сдвигов в организме. Приведем несколько примеров. Если в течение ряда дней собаке подкожно вводить определенную дозу раствора морфия, способную вызвать рвоту, одышку, дремотное состояние и сон, то после этого одна лишь манипуляция впрыскивания (подкожное введение физиологического раствора, простой укол в кожу и т. п.) вызывает ту же цепь реакций у животного: рвоту, одышку, дремоту, сон. Если при таких же обстоятельствах эксперимента взамен раствора морфия повторно ввести собаке раствор тироксина в дозе, достаточной для значительного усиления окислительных процессов в организме, то та же самая манипуляция впрыскивания на

этот раз вызывает реакцию тироксина — усиление окислительных процессов организма. Введение взвеси ослабленной культуры определенного вида бактерий в брюшную полость вызывает своеобразную защитную клеточную реакцию (накопление белых кровяных шариков в район попадания бактерии). Повторным применением процедуры можно выработать условный рефлекс на эту реакцию, т. е. вызвать ее одной только манипуляцией введения взвеси. Оказалось возможным выработать условные рефлексы и на болезненные состояния организма, например, на экспериментальные эпилептические припадки.

Павлов имел все основания сказать: «Итак, временная нервная связь есть универсальнейшее физиологическое явление в животном мире и в нас самих» (там же, стр. 711). Павлов не ограничивался установлением и твердым фактическим обоснованием кардинального для физиологии большого мозга положения, что разнородные и разносторонние условные рефлексы в совокупности составляют основной фонд высшей нервной деятельности животных. Опираясь на этот твердый фундамент и мастерски используя такой мощный рычаг физиологического исследования, как созданный им метод условных рефлексов, он поднял всю физиологию большого мозга на недоступную ранее высоту. «Для физиологии,— писал Павлов — условный рефлекс сделался центральным явлением, пользуясь которым можно было все полнее и точнее изучать как нормальную, так и патологическую деятельность больших полушарий» (там же, стр. 712).

Иван Петрович Павлов, вместе со своими учениками, на протяжении многих лет систематически и целеустремленно исследовал закономерности образования и закрепления, исчезновения и появления, взаимодействия и взаимного перехода условных рефлексов; особенности протекания в коре большого мозга основных нервных процессов — возбуждения и торможения; закономерности целостной и локальной, анализаторской и синтетической деятельности большого мозга; проблему локализации функции в его коре, а также ряд таких важных проблем, связанных с деятельностью большого мозга, как физиологические основы типа и характера, сна и гипноза, как основные закономерности экспериментальной патологии и терапии большого мозга и т. п. Приведем их краткую характеристику.

Об основном правиле образования условных рефлексов — сочетании индифферентного раздражителя с безусловным рефлексом — выше было

упомянуто неоднократно. Следует только добавить, что для быстрого образования и закрепления новых условных рефлексов необходимо также, чтобы посторонний раздражитель был значительно слабее безусловного и при сочетании с ним несколько опередил его во времени. Важно также, чтобы в период выработки условных рефлексов большой мозг был в бодром состоянии и чтобы здоровье животного вообще было удовлетворительным. Эти условия в совокупности создают наилучшие предпосылки для возникновения процесса возбуждения одновременно как в центре постороннего, так и в центре безусловного раздражителя, т. е. для образования временной или условной связи между ними. Несоблюдение любого из этих условий может стать не только препятствием к образованию новых и устойчивых условных рефлексов, но даже причиной ослабления и исчезновения ранее образовавшихся условных рефлексов на более или менее длительный период времени.

Существует множество причин ослабления и исчезновения готовых и даже крепких условных рефлексов. Главные из них те, о которых уже было сказано выше: применение условного раздражителя без подкрепления безусловным и внезапное действие на организм посторонних раздражителей, в особенности сильных. Детальное исследование природы этого явления привело к заключению, что как в том, так и в другом случае происходит не бесследное исчезновение или разрушение временной связи в буквальном смысле этих слов, а более или менее полная и длительная функциональная ее задержка или блокировка с помощью процесса торможения — соперника процесса возбуждения. В своеобразном скованном или замаскированном виде эта условная связь сохраняется длительное время. Пока еще точно не установлена интимная природа этого торможения, как и не выяснен вопрос о его возникновении и приложении в пределах структурных элементов временной связи. Это не помешало, однако, тому, чтобы при помощи фактических данных были достаточно точно установлены условия возникновения коркового торможения и чтобы были изучены многие его особенности, закономерности его движения, взаимодействия с процессом возбуждения и т. п.

Павлов различал две главные разновидности коркового торможения: безусловное, или внешнее; условное, или внутреннее. Безусловным он назвал торможение, которое возникает в коре большого мозга при действии на организм непривычных экстренных раздражителей и является таким

же врожденным, как и торможение в низших отделах центральной нервной системы. Эта разновидность торможения условных рефлексов обычно возникает быстро и удерживается недолго — минутами, десятками минут, часами. Условным же он назвал торможение, которое возникает в коре большого мозга при систематическом неподкреплении или запоздалом подкреплении примененного условного раздражителя, которое как бы вырабатывается заново. Эта разновидность торможения условных рефлексов имеет несколько вариаций, точнее —может быть вызвана несколькими способами. Она может быть вызвана постепенно, но все же довольно быстро, путем частого и последовательного применения условного раздражителя без подкрепления; при этом условный рефлекс постепенно уменьшается и исчезает вовсе (угасает). В таком случае торможение, как правило, и удерживается недолго — десятками минут, часами. Но условное торможение может носить хронический и стабильный характер, если оно вызывается способами, при которых условный раздражитель систематически не подкрепляется в течение дней, недель и месяцев. Один из таких способов называется дифференцировкой раздражителей. Берут два близких условных раздражителя (скажем, 100 и 70 ударов метронома в минуту), вызывающих в течение 30 секунд применения условные рефлексы, примерно, одинаковой величины (скажем, 20 и 18 капель слюны). Первый раздражитель в числе других попрежнему изо дня в день подкрепляется пищей, а второй при каждом своем применении не подкрепляется (он может быть применен 1—2 раза в каждом опытном дне). Это приводит к систематическому и постепенному, иногда волнообразному ослаблению, а затем и к полному исчезновению условного рефлекса на неподкрепленный метроном. Применение 100 ударов метронома в минуту попрежнему вызывает свой обычный слюноотделительный рефлекс величиной, примерно, в 20 капель за 30 секунд, а его парный раздражитель — 70 ударов метронома в минуту — за 30 секунд применения не вызывает ни одной капли слюны, т. е. взамен 18 капель слюны дает 0. И это может длиться месяцами, годами.

Возникает вопрос: на каком основании ослабление и исчезновение условных рефлексов при угасании, дифференцировке или при других способах хронического их неподкрепления приписывается развитию процесса торможения, своеобразной блокаде временной связи этим процессом?

Дело в том, что индифферентный в отношении пищевой деятельности раздражитель, ставший затем условным, не возвращается в силу угасания или дифференцировки к своему исходному, индифферентному же значению: он не теряет своего условного значения, а приобретает диаметрально противоположное значение — значение отрицательного условного раздражителя. Это видно, во-первых, по двигательной реакции животного в ответ на применение раздражителя. Когда условный рефлекс еще не угашен или не отдифференцирован, изолированное применение условного раздражителя обычно вызывает у животного так называемую положительную условную пищевую двигательную реакцию: оно встает, если сидело, подходит к месту, куда подается попеременно пища, смотрит то на условный раздражитель, то на окошечко, где появляется тарелочка с пищей, виляет хвостом, делает жевательные и глотательные движения, временами переступает с лапы на лапу, повизгивает, поскуливает и т. п. После угашения или отдифференцировки условного рефлекса изолированное применение условного раздражителя не вызывает не только выделения слюны, но и этой гаммы положительных к пищевой деятельности двигательных актов; животное либо сидит безразлично, либо даже отворачивается от места подачи кормушки, как бы «подчеркивая» тем самым свое отрицательное отношение к ней.

Далее, с помощью специальных приемов эксперимента удается доказать, что при этом под невинной маской нейтрального нуля, т. е. отсутствия слюноотделения, скрывается весьма активный нервный процесс, возникший в зоне условной связи в результате применения этих раздражителей и являющийся антагонистом процесса возбуждения во всех отношениях. Например, сочетание такого раздражителя с каким-нибудь другим из «нетронутых» условных раздражителей способно значительно ослабить, иной раз даже и полностью затормозить условный рефлекс последнего. Здесь, как и при всех возможных случаях их встречи, происходит как бы своеобразная алгебраическая суммация двух антагонистических нервных процессов в коре большого мозга.

На основании этих и других подобного рода фактических данных Павлов и назвал эти переделанные раздражители отрицательными или тормозными, а вызванный ими эффект — отрицательными или тормозными условными рефлексами, прибавляя соответственно эпитет «положительный» к ранее нам знакомым условным раздражителям и рефлексам.

Он хотел этим как бы подчеркнуть существование полной противоположности — сначала в биологическом значении этих двух родов сигнальных раздражителей, затем в характере внешней ответной реакции животного на них и, наконец, во внутренней физиологической природе нервных процессов, генерируемых этими раздражителями в коре большого мозга.

Соотношение между двумя основными и антагонистическими процессами коры большого мозга — возбуждением и торможением — характеризуется такими же особенностями, как и соотношение между основными противоположностями в природе, т. е. между положительными и отрицательными началами в математике, механике, физике, химии и т. п., могучая созидательная, творческая и движущая сила которых, наряду с их огромным теоретико-познавательным значением, была подчеркнута гениальным Лениным. По Павлову, между ними «идет беспрерывная борьба», независимо от времени и места их встречи, независимо от того, возникают ли они в одном и том же центре, одновременно или в какой-то последовательности, встречаются ли где-то поблизости или вдали от очага своего возникновения и т. п. Но одновременно эти два, каждый по-своему активных, нервных процесса представляются Павлову «как разные стороны, разные проявления одного и того же процесса», «как бы две половины одной нервной деятельности», как взаимоисключающие противоположности, возникшие от раздвоения единого нервного процесса. Они не только противоположны и враждебны, но между ними существует и такое многостороннее сходство, что, говоря о них, «можно было бы условно говорить о положительной и отрицательной возбудимости». Они переходят одно в другое, находятся в постоянном движении, развитии и взаимодействии, они являются активными творческими началами и фактическими создателями всей сложнейшей и богатейшей высшей нервной деятельности. Это живая, естественная диалектика основных закономерностей деятельности большого мозга, выявленная методом условных рефлексов и стихийно отраженная в материалистическом учении Павлова, но отнюдь не втиснутая туда искусственно, путем сухого теоретизирования.

Приведем, в порядке дальнейшего сжатого изложения закономерностей работы большого мозга, несколько фактических иллюстраций к сказанному.

Явление исчезновения положительных условных рефлексов при остром или хроническом неподкреплении их раздражителей безусловным рефлек-

сом есть не что иное, как переход процесса возбуждения в свою противоположность — в процесс торможения, как перемена его качественного знака на противоположный. Эта коренная переделка функционального знака не протекает плавно и легко, а характеризуется эпизодами тяжелой борьбы между конкурирующими за овладение «полем боя» процессами. Но и торможение может переходить в возбуждение. Отрицательные, или тормозные, условные рефлексы носят такой же временный характер, как и положительные. Стоит нарушить условия, которые способствовали их возникновению и сохранению, т. е. начинать вновь подкреплять их соответствующим безусловным рефлексом, чтобы они постепенно вновь превратились в положительные условные рефлексы, — вновь переменили свой качественный знак, проходя через разные стадии количественных изменений, различные этапы борьбы основных антагонистических процессов. Таким и подобными фактами установлено, что условное торможение, лежащее в основе отрицательных условных рефлексов, является таким же выработанным и временным процессом, как и условное возбуждение, лежащее в основе положительных условных рефлексов, и что переход между двумя антагонистическими процессами не односторонний, а взаимный. Исключительное биологическое значение этого очевидно и не нуждается в пространных комментариях.

Подобно тому как положительные условные рефлексы могут послужить базой для образования новых положительных же условных рефлексов,— отрицательные условные рефлексы могут стать основой для образования отрицательных же условных рефлексов (в этих целях производят сочетание индифферентных раздражителей с ними).

Правило алгебраической суммации процессов возбуждения и торможения в коре большого мозга не исчерпывается упомянутыми выше случаями взаимного их ослабления при встрече и столкновении между собой. Каждый из этих процессов способен суммироваться и усиливаться, если генерирующие их однозначные условные раздражители действуют на организм в одновременных или последовательных комбинациях или же повторно.

Активность и динамичность процессов возбуждения и торможения очень четко выявляются в присущем обоим процессам свойстве распространяться (правило иррадиации) из очага возникновения на близкие и даже отдаленные районы коры большого мозга, входить во взаимодей-

ствие с местными процессами и алгебраически суммироваться с ними, затем спустя некоторое время покидать их, как бы возвращаясь обратно в исходный очаг (правило концентрации). Особенно демонстративны иррадиация и концентрация процесса торможения. После однократного и в особенности повторного применения какого-нибудь отрицательного условного раздражителя (угасательного, дифференцировочного и др.) часто наблюдается одно интересное явление: постепенно ослабляются, а иногда даже временно исчезают и всегда подкрепляемые положительные условные рефлексы. Ясно, что центры или временные связи последних подвергаются воздействию тормозной волны, идущей от очага тормозного условного раздражителя. Нередко удается очень внимательно проследить движение этой волны. При этом, как и следовало ожидать, раньше и сильнее страдают положительные условные рефлексы на те раздражители, которые по своему характеру близки и родственны к тормозному раздражителю (а значит в коре большого мозга их центры расположены близко); позже и слабее страдают положительные условные рефлексы на раздражители, отдаленные от тормозного и не сходные с ним. С течением времени, однако, начинается постепенное восстановление прежнего состояния этих как бы вторично заторможенных положительных условных рефлексов, на этот раз в обратном порядке: раньше — на отдаленные и несходные раздражители, позже — на близкие и родственные.

Иррадиация и концентрация процессов возбуждения и торможения являются не просто показателями их активности и подвижности, но и проявлением одной из основных закономерностей работы большого мозга вообще, одной из основных форм взаимодействия и взаимосвязи между различными отделами коры большого мозга, осуществляемых с помощью этих процессов.

Явление взаимной индукции (так оно названо по внешней аналогии с индукцией в электрофизике) представлет собой другой вид связи и взаимодействия между отдельными частями больших полушарий, осуществляемый с помощью тех же процессов. При более или менее сильном возбуждении какого-нибудь одного очага большого мозга соседние или даже отдаленные его центры, как бы по закону контраста, в это время тормозятся, и, наоборот, при более или менее сильном торможении этого очага возбудимость остальных очагов повышается. Но явления индукции могут возникать и в одном и том же очаге: после сильного

возбуждения наступает его торможение, а после сильного торможения его возбудимость повышается. Вообще явления взаимной индукции кратковременны.

Методом условных рефлексов были выявлены и детально изучены также правила анализаторской и синтетической деятельности коры большого мозга, осуществляемой с помощью тех же основных двух корковых процессов — возбуждения и торможения. Условно-рефлекторная анализаторская и синтетическая деятельность организма является наиболее совершенной, тонкой и сложной из этого рода его деятельности и имеет для него огромное биологическое значение.

Существует несколько форм простого и сложного коркового анализа, начинающихся всегда с периферических анализаторов (так назвал Павлов органы чувств) и кончающихся центральными, или зонами коры большого мозга. Одно из проявлений несложного коркового анализа явлений окружающей среды — это существование довольно четкой прямой связи между силой условного раздражителя и величиной условного рефлекса, в известных пределах охватывающей большинство раздражителей: чем сильнее раздражитель,тем больше рефлекс (правило силовых соотношений). Однако наиболее совершенный корковый анализ связан с решающим участием процесса условного торможения. Не трудно убедиться, что примером такого анализа является то, что было описано выше под видом угасания условных рефлексов, а также дифференцировки условных рефлексов на 100 и 70 ударов метронома, и оценено как доказательство развития условного торможения. Таким же точно способом удается добиться того, чтобы собака отдифференцировала 100 и 96 ударов метронома в минуту, круг от эллипса с соотношением полуосей 8 : 9, музыкальный тон в 500 колебаний в секунду от тона в 498 колебаний, равно как и отдифференцировала бы друг от друга весьма близкие температурные, запаховые и другие раздражители. Лишение одного из двух близких условных раздражителей присущего ему специфического сигнального значения, если он перестает адэкватно сигнализировать грядущие события, и сохранение этого значения за другим есть тонкое приспособление организма через тончайший условно-рефлекторный анализ, произведенный с помощью процессов возбуждения и в особенности торможения. Точно так же свидетельством тонкой и совершенной анализаторской деятельности коры большого мозга является ее способность превращения одних раздражи-

телей в условные сигналы пищевой деятельности, других — в сигналы оборонительной и т. п.

Самый факт образования простого условного рефлекса уже является доказательством высшей синтетической деятельности коры большого мозга. Можно было бы сказать, что при этом кора не просто суммирует два явления, а синтезирует два врожденных рефлекса в один рефлекс высшего, качественно нового типа. Образование условных рефлексов второго и третьего порядков, а также условных рефлексов на комплекс одновременно или последовательно примененных раздражителей является свидетельством еще более сложной и совершенной синтетической деятельности коры большого мозга. Наконец, выражением наиболее совершенной и сложной синтетической деятельности ее является способность объединить всю картину эксперимента с фиксированным порядком применения условных раздражителей, т. е. способность как бы автоматизировать сложную цепь деятельностей (так называемая системность работы большого мозга).

Внимательное изучение этих фактов показывает, что анализаторская и синтетическая деятельность коры большого мозга является единой, что всегда анализ и синтез протекают в неразрывной связи между собой, перемежаются и т. п. Это выступает очень отчетливо при образовании комплексного положительного условного рефлекса на одну последовательность применения раздражителей и комплексного отрицательного условного рефлекса — на другую последовательность применения тех же раздражителей. Но наиболее яркой иллюстрацией значения, равно как и неразрывности анализаторской и синтетической деятельности коры большого мозга является другое: несмотря не невероятную сложность, разнозначность, разнородность и многочисленность протекающих в коре процессов (которые были описаны здесь весьма схематично, неполно и разрозненно), ее работа протекает гармонично, а не хаотично; она функционирует как единое целое, что отнюдь не исключает возможности доминирования или даже строго локализированной работы отдельных ее частей; процессы в ней видоизменяются, систематизируются и координируются в строгом соответствии с текущими потребностями организма. И в основе этой многогранной, многозначной, сложной и весьма подвижной функциональной мозаики в деятельности коры большого мозга лежат, в конечном итоге, процессы возбуждения и торможения в различной степени интенсивности, протяженности и т. п. «Баланс между этими

процессами,— писал Павлов,— и колебания его в пределах нормы и за норму и определяют все наше поведение — здоровое и больное» (там же, стр. 11).

Однако роль процесса торможения не исчерпывается его участием в организации координационной или интегративной деятельности большого мозга, как и всей центральной нервной системы вообще. Богатые результаты многолетних лабораторных экспериментов на животных, а также точные наблюдения на людях привели Павлова к заключению, что процесс торможения играет также и другую, весьма важную роль в жизни большого мозга — роль организатора наиболее полноценного физиологического покоя для его клеток. Многочасовое бодрствование и в особенности напряженная работа этих клеток, отличающихся особой нежностью и хрупкостью, способны утомлять, ослаблять и даже истощать их и создавать, тем самым, благоприятную почву для возникновения и быстрого распространения процесса торможения, как организатора покоя и защитного процесса, по всей массе клеток большого мозга. А по Павлову «сон есть торможение, распространившееся на большие районы полушарий, на все полушария и даже ниже — на средний мозг» (там же, стр. 385).

Охранительная роль торможения с особой четкостью выявляется в тех случаях, когда на организм действует чрезмерно сильный раздражитель, даже условный. Клетки коры большого мозга обладают сравнительно невысоким «потолком» или «пределом» работоспособности. Если раздражитель очень сильный и вызывает возбуждение, превосходящее этот предел, то он может при длительном действии сильно ослабить и истощить эти клетки, нанести им значительный вред. Такая серьезная угроза предотвращается благодаря своевременному развитию в таких центрах локального торможения, которое как бы отгораживает клетки от внешних воздействий (запредельное торможение).

Могут быть такие специфические условия работы большого мозга, когда достаточно глубокое торможение охватывает не всю кору и не ограниченную группу клеток, а целый район или районы коры большого мозга, вызывая тем самым как бы сон лишь одних этих ее частей. Этот частичный сон и есть физиологическая основа явления гипноза. Экспериментально были установлены и изучены несколько переходных фаз между бодрым состоянием корковых клеток и состоянием их глубокого торможения (так называемые гипнотические фазы).

В нормальных условиях жизни организма важное биологическое значение торможения отдельных центров, районов или всей коры и ближайшей подкорки, иначе говоря — точечного, частичного и общего сна, в том и заключается, что оно не только устраняет опасность вреда для этих клеток, но и способствует быстрому и лучшему восстановлению их бодрости и работоспособности.

Таким образом, загадочные явления сна и гипноза были сведены Павловым к хорошо изученному физиологическому процессу, а возникновение и развитие их вариаций были изучены при помощи точных физиологических экспериментов, освещены с позиций физиологии и биологии.

Хотя закономерности деятельности и покоя коры большого мозга и имеют много сходных черт с соответствующими закономерностями низших отделов центральной нервной системы и генетически связаны с ними общими корнями, тем не менее большинство из них являются новыми и качественно отличаются от последних, «повторяют» их на высших витках спирали развития, представляя более высокий уровень нервной интеграции. В живой действительности закономерности работы большого мозга не изолированы друг от друга, как описано было здесь, а все они, как показали исследования лабораторий Павлова, протекают в постоянной взаимосвязи и взаимодействии, сочетаясь и борясь между собою, взаимопроникая и переходя друг в друга, создавая в итоге целостный и гармонический физиологический «механизм» реализации важнейшей биологической роли большого мозга.

Как же понять с широкой биологической точки зрения роль и значение условно-рефлекторной деятельности для организма?

Отвечая на этот вопрос, тем самым мы как бы ответим и на вопрос: какое место занимает учение Павлова в системе биологических дисциплин?

Следует отметить, что некоторые из передовых физиологов еще в конце XIX столетия делали успешные попытки использовать учение Дарвина для понимания биологического смысла ряда явлений в деятельности низших отделов центральной нервной системы. И это оплодотворяло их работу. В отношении врожденных рефлексов, например, Шеррингтон писал: «Эффект каждого рефлекса направлен на то, чтобы дать возможность организму в каком-либо частном отношении успешнее приспособляться

к окружающей среде.[1] Однако двери физиологии большого мозга долгое время оставались закрытыми для учения великого биолога. Своим учением об условных рефлексах Павлов настежь открыл и эти двери. Он выявил и всесторонне оценил огромное биологическое значение условно-рефлекторной деятельности организма в борьбе за существование. Согласно его учению, наиболее тонкое, точное и совершенное приспособление организма к окружающей среде осуществляется именно с помощью условно-рефлекторной деятельности, посредством образования (а при необходимости и устранения) самых разнообразных, разнородных и разносторонних условных рефлексов. Павлов, как бы продолжая приведенную мысль Шеррингтона о приспособительной роли врожденных рефлексов, писал: «Но достигнутое этими рефлексами уравновешивание было бы совершенно только при абсолютном постоянстве внешней среды. А так как внешняя среда при своем чрезвычайном разнообразии вместе с тем находится в постоянном колебании, то безусловных связей, как связей постоянных, недостаточно, и необходимо дополнение их условными рефлексами, временными связями» (там же, стр. 710). С этой точки зрения можно значительно шире и глубже понять и осмыслить огромное биологическое преимущество условных рефлексов перед безусловными. Организм стремится к благоприятным для существования условиям и факторам и избегает неблагоприятных по одним только отдаленным предвестникам этих факторов — по сигналам. Сигнальная деятельность, кроме того, неизмеримо расширяет диапазон восприятия предметов и событий окружающего мира, а также диапазон действия в этом мире. А временность, изменчивость и хрупкость условных рефлексов, их крайняя обусловленность, в частности зависимость от подкрепления и неподкрепления безусловными рефлексами, делает их более гибкими, тонкими, подвижными и совершенными средствами приспособления к вечно изменяющейся окружающей среде.

Хотя подобного рода сигнальная деятельность большого мозга, осуществляемая благодаря непосредственным показаниям органов чувств, постоянно совершенствуется и осложняется в процессе развития животного мира, тем не менее она не претерпевает качественных изменений, и принципиально ею исчерпывается вся высшая нервная деятельность животных, на каком бы уровне эволюционной лестницы они ни стояли.

[1] Ch. Sherrington. The Integrative Action of the Nervous System, 1906.

Более того, такая сигнальная система действительности занимает значительное место также и в высшей нервной деятельности человека. Однако «в развивающемся животном мире на фазе человека», т. е. с появлением и развитием его трудовой деятельности и социальной жизни вообще, у него «появились, развились и чрезвычайно усовершенствовались сигналы второй степени, сигналы этих первичных сигналов—в виде слов, произносимых, слышимых и видимых» (там же, стр. 732). По Павлову, эта качественно новая, более высокая и совершенная сигнальная система действительности свойственна только высшей нервной деятельности человека, является «специально нашей»; она и «сделала нас людьми», и играет исключительную роль в нашей социальной жизни.

Метод условных рефлексов оказался весьма плодотворным также в исследовании ряда актуальных проблем современной биологии и медицины, связанных со структурными и функциональными особенностями большого мозга. К ним относятся проблема специализации и локализации функций в коре большого мозга и проблема типа нервной системы и характера ее деятельности.

Павлов нанес решительный и меткий удар как по метафизической теории о неизменной специализации и узкой локализации функций в коре большого мозга, так и по противоположной, но столь же метафизической теории, отрицающей всякую специализацию и локализацию функций в ней. Безукоризненно точными экспериментальными данными он показал, что бесспорно существует специализация и локализация функций в коре большого мозга, но специализация эта не абсолютна и не статична, а относительна и динамична; границы локализации не узки и не очерчены строгой линией, а как бы незаметно растворяются в соседних зонах, точнее — их нет, так как зоны взаимно перекрывают друг друга своими периферическими частями; в «фокусах» этих локализационных зон коры сконцентрированы наиболее специализированные нервные клетки, а на обширной их периферии с убывающей густотой расположены клетки менее специализированные.

Долголетняя экспериментальная работа на большом числе собак дала Павлову богатый материал для построения своей концепции о физиологических основах типа нервной системы и характера нервной деятельности. Согласно этой концепции, тип нервной системы обусловливается прирожденными конституциональными ее особенностями, иначе говоря — гено-

типическими ее свойствами или чертами. Главные из них три: сила основных нервных процессов — возбуждения и торможения, уравновешенность или сбалансированность этих процессов между собой и, наконец, подвижность их. Сочетаясь разно, эти основные, врожденные черты нервной системы и создают тот или иной ее тип или темперамент. Хотя теоретически возможно и очень большое число таких комбинаций (а значит и типов нервной системы), но в действительности встречаются главным образом четыре четких типа нервной системы, которые по внешней картине во многих отношениях совпадают с четырьмя темпераментами, описанными еще Гиппокритом. Это — возбудимый или безудержный тип (холерик), инертный или медлительный (флегматик), живой или подвижной (сангвиник) и слабый (меланхолик). Однако, согласно воззрениям Павлова, в окончательном формировании характера нервной деятельности, наряду с этими генотипическими или врожденными особенностями нервной системы, весьма важную роль играют фенотипические изменения в ней, т. е. изменения, обусловленные внешней средой, историей жизни, условиями существования. Наличная нервная деятельность есть как бы «сплав» генотипических и фенотипических особенностей нервной системы, синтез типа и характера.

Метод условных рефлексов оказался весьма тонким, точным и эффективным орудием также в изучении ряда вопросов физиологии низших отделов центральной нервной системы, а также физиологии многих эффекторных и в особенности рецепторных органов.

Совершенно особое место занимают богатейшие результаты многолетней экспериментальной и теоретической работы Павлова по исследованию патологической деятельности большого мозга. Метод условных рефлексов оказался непревзойденным и здесь. Основываясь на них, Павлов в последний период своей жизни вплотную подошел к проблемам психических и нервных заболеваний человека. Результаты этих его «физиологических экскурсов» в сложнейшие области медицины оказались блестящими: в них была внесена новая, свежая физиологическая струя, были по-новому освещены происхождение и природа ряда болезненных состояний мозга человека, намечены новые пути их лечения.

Экспериментальное и теоретическое исследование отдельных вопросов эволюции высшей нервной деятельности проводилось отдельными учениками и последователями Павлова на протяжении многих лет. Однако

эта работа шла вяло, бессистемно и оказалась недостаточно продуктивной. Сам Иван Петрович подошел вплотную к исследованию этой обширной и исключительно важной проблемы лишь в самые последние годы своей жизни. Им был задуман обширный и интересный план многолетней систематической и целеустремленной экспериментальной работы, охватывающей изучение высшей нервной деятельности всех основных звеньев длинной эволюционной цепи животного мира с человеком во главе. Для успешной реализации этих планов быстрыми темпами строился целый научный городок в селе Колтуши под Ленинградом. Тронутый до глубины души исключительной заботой и вниманием советского правительства, окрыленный бурно растущей мощью горячо любимой родины и горя желанием еще выше поднять авторитет отечественной физиологии и науки вообще, маститый ученый приступил к реализации своих планов с присущим ему юношеским энтузиазмом и увлечением, с неисчерпаемой энергией и страстностью. Выполнить он успел, к сожалению, лишь небольшую часть своих грандиозных замыслов. Неумолимая смерть неожиданно для всех и для него самого прервала нить чудесной жизни великого мыслителя. Более 10 лет в тех же Колтушах, но уже под руководством лучшего ученика Павлова, ведущего физиолога страны Леона Абгаровича Орбели, с большим успехом ведется систематическое, многостороннее и углубленное исследование эволюции высшей нервной деятельности.

В заключение хотелось бы несколько конкретизировать ответ на поднятый в начале статьи вопрос относительно хронологии развития экспериментальной и теоретической работы Павлова по созданию учения о высшей нервной деятельности. Как уже было сказано, несмотря на неблагоприятные условия для работы Павлова в дореволюционной России, ему удалось все же не только накопить экспериментальный материал, но и произвести некое предварительное его обобщение. Он охарактеризовал специфические свойства условных рефлексов, классифицировал их по роду, знаку и степени, выяснил условия их образования и исчезновения, уточнил их центральную локализацию, выявил роль процессов возбуждения и торможения в деятельности коры большого мозга, а также правило их иррадиации и концентрации. Он сформулировал концепции об анализаторской деятельности коры большого мозга, сделал черновые наброски своих концепций о локализации функций в коре мозга и о физиологической природе сна и гипноза, о правиле взаимной индукции и выявил

некоторые из особенностей патологической деятельности большого мозга. Созданные советским правительством исключительно благоприятные условия для научно-творческой деятельности Павлова дали ему возможность развернуть широкую и многостороннюю экспериментальную работу почти по всем перечисленным выше вопросам, что позволило ему превратить прежние черновые наброски в обоснованные теории, а также внести существенные поправки в прежние, в основном оформленные, теоретические положения, поднять их на более высокий уровень. Одновременно с этим экспериментальная работа непрерывно выявляла новые и новые закономерности работы большого мозга. В основном к послереволюционному периоду работы Павлова относятся: выявление и формулировка правила взаимной индукции основных нервных процессов в деятельности большого мозга, правила синтетической деятельности коры большого мозга, развитие концепций о второй сигнальной системе действительности, о гипнотических фазах, об охранительной и целительной роли процесса торможения и о сонной терапии, развитие учений о физиологической основе типа нервной системы и характера нервной деятельности, о закономерностях патологической деятельности большого мозга, концепции о физиологической природе некоторых болезненных состояний нервной системы человека и т. п. Все это в совокупности дало Павлову возможность создать единое учение о высшей нервной деятельности — величайшее достижение советской науки.

Созданный гением Павлова метод условных рефлексов и учение его о высшей нервной деятельности создали новую эру в биологии и медицине. Они открыли широчайшие горизонты для исследования самых сложных и трудных задач и вопросов биологии, физиологии и медицины, связанных так или иначе с деятельностью мозга. Метод условных рефлексов Павлова, как могучий общебиологический принцип научно-творческой работы, неизменно приводит к удовлетворительному разрешению этих задач и вопросов, если им пользуются уместно и умело. Яркой иллюстрацией правильности этого положения являются результаты экспериментальной и теоретической работы большого числа учеников Павлова и его последователей: Л. А. Орбели, А. Д. Сперанского, К. М. Быкова, М. К. Петровой, П. С. Купалова, И. П. Разенкова, Н. А. Рожанского, Г. П. Зеленого, И. С. Цитовича, Е. А. Ганике, Н. И. Красногорского, П. К. Анохина, Л. Н. Федорова, Г. В. Фольборта, Н. А. Подкопаева, А. Г. Иванова-

Смоленского, И. С. Розенталя, Г. А. Васильева, А. О. Долина, Ю. М. Конорского, Д. А. Бирюкова, М. А. Усиевича, Ф. П. Майорова, Г. В. Гершуни, В. В. Строганова, М. Н. Ливанова, Э. Г. Вацуро и др.

Трудно переоценить колоссальное значение экспериментальной и теоретической работы Павлова в области нормальной и патологической деятельности большого мозга для современного естествознания вообще. В сравнительно короткий промежуток времени было ликвидировано значительное отставание на одном из главных его участков.

Огромно также теоретико-познавательное значение учения Павлова о высшей нервной деятельности. В отличие от многих других классиков естествознания XIX и XX столетий, Павлов был не стихийным, а сознательным материалистом. Он способствовал искоренению идеализма и торжеству материализма в основных вопросах биологии и медицины не только как экспериментатор, но и как теоретик, как мыслитель. Он всегда был принципиальным, непримиримым и страстным борцом за позиции материализма в сложнейшем и важнейшем вопросе естествознания и философии — соотношения материи и психики. А при осмысливании богатейшего эмпирического материала своих лабораторий он нередко поднимался выше ограниченного уровня механистического материализма и весьма близко подходил к диалектическому пониманию сущности и динамики сложнейших нервных процессов в большом мозге. Пожалуй, после Дарвина никто из биологов своей оригинальной научно-творческой работой не способствовал в такой степени укреплению естественнонаучной основы диалектического материализма, как Павлов. Следует отметить, что учение Павлова в целом и в особенности его концепции о второй сигнальной системе действительности и о психо-физиологическом единстве имеют фундаментальное значение для зарождающейся материалистической психологии.

Примерно сорок лет назад Иван Петрович говорил: «Мозг, конечно, — огромная тема, которая и своим строением, и своими функциями займет, понятно, длиннейший ряд поколений исследователей». И это ясно. Ведь мозг — самое совершенное и сложное из созданий земной природы!

Но уже сейчас мы можем с гордостью констатировать, что за это время, в основном в советскую эпоху, могучим гением Павлова на магистральном пути познания тайн мозга была завоевана одна из самых недоступных вершин. И это ко многому обязывает нас — его многочисленных учеников.

Академик

Л. С. Штерн

ЗНАЧЕНИЕ ПОСТОЯНСТВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ ДЛЯ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖИВОТНОГО ОРГАНИЗМА



Из основного положения, что между средой и живущим в этой среде организмом существует теснейшее взаимодействие, следует, что для сохранения нормальной жизни и деятельности индивидуума, как и для преемственности вида, необходимо определенное постоянство состава и свойств его непосредственной среды. Изменение химического состава, равно как и физических и физико-химических свойств среды, должно вызывать соответствующие изменения в жизни и деятельности данного организма и влиять на его развитие. В свою очередь изменение характера процессов, протекающих внутри организма и лежащих в основе его жизненных проявлений, должно соответствующим образом влиять на состав и свойства его непосредственной среды.

Само собой разумеется, что изменение характера среды вследствие появления новых химических, физических и других агентов затрудняет дальнейшее нормальное существование данных организмов, если они лишены соответствующих приспособлений, необходимых для борьбы с этими новыми условиями.

Примеры такого приспособления мы встречаем уже на самых низких ступенях развития — у простейших организмов, в частности в отношении дыхательных процессов, лежащих в основе обмена между средой и живущим в этой среде организмом и являющихся источником необходимой для жизни энергии.

При изменении характера среды меняется характер дыхательных процессов, и в связи с этим меняются и свойства участвующих в этих процессах катализаторов, т. е. ферментов.

Так, например, у простейших организмов, живущих в бескислородной среде (так называемые анаэробные, или аноксибиотические огранизмы), полностью отсутствуют дыхательные ферменты, характерные для аэробных организмов (оксидоны, оксидазы, пероксидазы, каталаза и т. д.).

Интересно отметить, что при доступе кислорода эти анаэробные организмы быстро погибают, так как образующиеся продукты окисления, как, например, перекись водорода, являются для них сильным ядом.

С появлением кислородной среды появляются и развиваются окислительные процессы и соответствующие ферменты. Одновременно появляется особый фермент — каталаза, обладающий способностью разлагать образующуюся в процессе дыхания ядовитую перекись водорода на воду и кислород.

По мере восхождения по зоологической лестнице вместе с изменением характера дыхания дифференцируются и совершенствуются участвующие в этом процессе катализаторы. Это относится не только к отдельным видам животных, но и к отдельным тканям и органам одного и того же вида и индивидуума.

☆

У многоклеточных животных мы встречаемся с новым родом приспособления, а именно с появлением и развитием так называемой внутренней среды, отгороженной от внешней, или общей среды.

Вместе с появлением этой внутренней среды развиваются и особые приспособления (механизмы, или органы), обусловливающие состав и свойства этой среды и, в первую очередь, ее относительное постоянство.

По Клоду Бернару этой внутренней питательной средой является у более сложных животных кровь и лимфа. Изучению химического состава и свойств этой среды и связи между изменением состава и свойств крови и состоянием животного, роли отдельных органов и систем в сохранении определенного, хотя и относительного ее постоянства, посвящены исследования многочисленных авторов.

Значение постоянства состава и свойств этой внутренней среды для жизни и деятельности организма отмечает Клод Бернар в своем знаменитом постулате: «Постоянство внутренней среды—условие свободной жизни».

Рассматривая эволюцию животных в онтогенетическом и филогенетическом разрезе, мы констатируем, что, по мере восхождения по зоологической лестнице, вместе с развитием, вместе с осложнением и дифференциацией структуры и функций организма растет и усиливается его чувствительность к изменениям химического, физического и физико-химического характера его внутренней среды.

Исследованиями последних десятилетий установлено, что пределы колебаний химического состава, равно как и отдельных физических и физико-химических свойств крови, совместимые с нормальной жизнью животного организма, суживаются по мере его совершенствования. Как пример можно привести колебания в температуре, в осмотическом давлении и в pH (т. е. концентрации водородных ионов) крови.

Известно, что даже среди позвоночных животных более низкие формы, так называемые холоднокровные, или пойкилотермные, животные (т. е. животные с непостоянной или изменчивой температурой), как-то: рыбы, амфибии, рептилии, могут переносить и фактически переносят очень сильные колебания температуры крови и тканей. У этих животных отсутствуют терморегулирующие механизмы, и в связи с этим отмечается полная зависимость скорости их жизненных реакций от температуры окружающей их среды (следуя закону Ван'т Гоффа).

У высших животных температура внутренней среды, т. е. температура крови, практически не меняется даже при довольно сильных колебаниях внешней температуры. У этих так называемых теплокровных, или гомеотермных, животных (т. е. животных с постоянной температурой) существует особая физиологическая система терморегуляции, защищающая внутреннюю среду как от повышения, так и от понижения температуры. Одновременно мы отмечаем у гомеотермных животных нарастание чувствительности к изменениям внутренней температуры, по мере того как совершенствуется и усложняется их организм. У высших животных, особенно у человека, изменение температуры внутренней среды на несколько градусов представляет опасность для самой их жизни.

В отношении осмотического давления отмечается подобное же явление: значительное увеличение чувствительности к колебаниям осмотического

давления внутренней среды по мере совершенствования животного организма. Как показали исследования последних лет, пределы колебаний осмотического давления крови, совместимые с жизнью, суживаются по мере восхождения по зоологической лестнице.

Одновременно с этим увеличением чувствительности отмечаются появление и развитие функции регуляции осмотического давления, выполняемой специальными органами и физиологическими системами. Эти органы охраняют внутреннюю среду и от повышения осмотического давления, вызванного увеличением концентрации растворенных в ней веществ, и от понижения этого давления вследствие увеличения количества воды.

В отношении реакции (pH) крови установлено, что у низших животных возможны довольно значительные колебания pH крови без заметного нарушения нормального состояния организма. Вызванные этими колебаниями изменения характера протекающих внутри клеток процессов вполне совместимы с жизнью низших животных. У высших же животных, и в первую очередь у человека, пределы колебаний pH крови, совместимые с нормальной жизнью, очень незначительны. В частности, у человека изменение pH крови на несколько десятых вызывает очень серьезные нарушения деятельности организма, совокупность которых мы обозначаем как ацидоз (уменьшение pH) или алкалоз (увеличение pH). Незначительные сдвиги pH крови быстро приводят в действие систему органов, имеющих своей функцией восстановление нормальной реакции крови.

Сохранение такой независимости внутренней среды от ряда изменений окружающей среды осуществляется определенными физиологическими аппаратами, которые появляются, развиваются и совершенствуются в процессе эволюции и имеют своей функцией ограждение внутренней среды от внешней.

Одновременно с этим появляются особые приспособления, обеспечивающие бесперебойный обмен с окружающей средой. Этот обмен является непременным условием, необходимой предпосылкой для нормального существования животного организма. Из общей окружающей среды организм черпает все нужное ему для жизни и в окружающую среду выделяет все возникающие в результате протекающих в нем процессов продукты, накопление которых может оказаться вредным и даже несовместимым с его дальнейшим существованием.

Необходимость такого бесперебойного обмена очевидна. Кратковременное прекращение доступа кислорода или остановка дыхания очень быстро (у высших животных уже через несколько минут) приводит к смерти. С другой стороны, прекращение выделения продуктов распада, возникающих в результате жизнедеятельности органов, очень быстро приводит к отравлению организма. Физиологические аппараты или механизмы, ограждающие внутреннюю среду от внешней и одновременно обеспечивающие бесперебойный обмен внутренней среды с внешней, носят общее название барьеров.

Таким барьером является в первую очередь кожный покров со своими придатками, который защищает организм от физических изменений (температуры, влажности и т. д.) окружающей среды и принимает участие в регуляции температуры внутренней среды. Одновременно этот барьер является аппаратом, через который выделяется в окружающую среду ряд продуктов, возникающих в процессе жизнедеятельности органов и тканей.

Роль барьера выполняет также дыхательный аппарат, который, с одной стороны, доставляет кислород во внутреннюю среду, а с другой — выделяет из нее образующуюся в процессе жизнедеятельности организма углекислоту и воду. Дыхательный аппарат одновременно ограждает внутреннюю среду от разных существующих в окружающей его атмосфере чужеродных тел.

Особого внимания заслуживает барьер, представляемый пищеварительным аппаратом, через который поступают в организм питательные вещества, необходимые для его деятельности, роста и развития.

В пищеварительном тракте пища претерпевает превращения физического и химического порядка, делающие ее способной к ассимиляции, т. е. к непосредственному использованию клетками, входящими в состав отдельных тканей и органов.

В процессе пищеварения сложные пищевые вещества, в частности белковые, теряют свои специфические особенности, свои антигенные свойства, становятся индифферентными, т. е., поступая в кровь, они не нарушают ее нормального состава и могут быть ассимилированы, т. е. использованы организмом, не вызывая никаких патологических реакций.

В сохранении постоянства внутренней среды большую роль играет выделительный аппарат (в частности — почки), освобож-

дающий кровь от поступающих в нее из различных органов и тканей продуктов их метаболизма, накопление которых приводит к нарушению нормальной деятельности различных физиологических систем.

В некоторой своей части таким барьером является и ретикуло-эндотелиальная система, которой приписывается, между прочим, большая роль в ограждении крови от ряда патогенных агентов (т. е. возбудителей болезни), как, например, патогенные микроорганизмы, вирусы и др.

Все выше названные органы, играющие роль защиты и способствующие сохранению определенного постоянства внутренней среды организма, мы называем внешними барьерами.

Говоря о способах защиты внутренней среды от внешней, нельзя забывать, что необходимым условием для жизни организма является в первую очередь возможность постоянного обмена с окружающей средой.

☆

В настоящее время никем не отрицается значение состава и свойств внутренней среды (т. е. крови), как и не отрицается влияние, которое может оказать изменение состава и свойств крови на жизнь и деятельность животного организма, но только в последнее время возникла мысль, что для нормального состояния и деятельности отдельных органов и тканей сложного организма решающее значение имеет их непосредственная питательная среда, т. е. та жидкость, которая омывает клетки отдельных органов.

Учитывая существующие между отдельными органами сложного животного организма структурные и функциональные различия, мы пришли на основании закона о взаимодействии между средой и живущим в ней объектом к выводу, что для каждого органа должна существовать особая среда, соответствующая его структурным и функциональным особенностям.

На самом деле, в сложных животных организмах ни одна клетка, за исключением форменных элементов крови и эндотелиальных клеток, выстилающих стенки кровеносных сосудов, не приходит в непосредственный контакт с кровью. Для каждого органа существует своя особая среда, которую, в отличие от общей внутренней среды, мы называем непосредственной, или интимной питательной средой

данного органа. Из этой непосредственной питательной среды (каковой является тканевая, или межклеточная жидкость), обладающей характерными для каждого органа химическими, физико-химическими и биохимическими свойствами, соответствующий орган черпает необходимые для его жизни и деятельности вещества и туда же выделяет продукты своего метаболизма.

Для обновления жидкости, являющейся непосредственной питательной средой отдельных клеток, недостаточно одного только обновления состава крови. Благодаря наличию особых барьеров, которые расположены на грани между кровью и непосредственной питательной средой отдельных органов и тканей, клетки данного органа защищены от вредных для них веществ, находящихся в крови; они защищены также от вредного действия тех веществ, которые образуются в самих клетках в процессе их жизнедеятельности и представляют собой в значительной мере отбросы, или шлаки. Бесперебойное удаление этих шлаков из тканевой жидкости так же важно для жизни данных клеток, как и приток из крови в тканевую жидкость тех веществ, наличие которых необходимо для нормальной жизни клеток.

Подтверждением этого положения могут служить опыты, поставленные на простейших одноклеточных организмах (парамеции, или туфельки) для решения спорного вопроса о бессмертии клетки, вернее — о законе смерти. Опыты показали, что при постоянном обновлении своей питательной среды эти организмы сохраняли в полной мере в течение ряда лет свою жизнеспособность, в частности способность размножаться без всякого ослабления. Между тем в контрольных опытах, в которых питательная жидкость не обновлялась, жизнеспособность этих организмов очень быстро нарушалась, и жизнь их вскоре прекращалась.

Эти результаты со всей очевидностью показали, какое большое значение имеет удаление из питательной среды всех тех веществ, которые возникают в процессе жизнедеятельности внутри организма. Накапливаясь в питательной среде данного организма, шлаки нарушают нормальную его деятельность и в конце концов приводят его к смерти. Другими словами, причиной смерти отдельных клеток являются именно те вещества, которые возникают в результате самой жизни, что вполне соответствует положению Энгельса, по которому в самой жизни заложена смерть.

На значение бесперебойного обновления питательной среды для жизни и деятельности живущих в ней форменных элементов (т. е. клеток и тканей) указывают и наблюдения над тканевыми культурами. Опыты, проведенные на фрагментах различных животных тканей, в том числе и наиболее дифференцированных, как сердечная и нервная ткани теплокровных, показали, что для нормального развития этих культур и для сохранения в течение длительного времени их нормальных структурных и функциональных свойств питательная среда культур должна не только содержать все элементы, необходимые для их нормальной деятельности, но и быть огражденной от засорения шлаками, образующимися в самих клетках и частично являющимися продуктами их распада. При соблюдении этих условий удается сохранить в течение десятков лет в совершенно нормальном состоянии фрагменты тканей и органов таких животных, жизнь которых очень коротка.

Без учета состава и характера интимной среды каждого отдельного органа и соответствующих внутренних барьеров, обеспечивающих ее постоянство, трудно и даже невозможно объяснить ряд важнейших для физиологии и патологии явлений, как, например, различную чувствительность и реактивность различных органов и тканей в отношении ряда веществ, введенных в общую циркуляцию, и причины локализации инфекции и развития патологического процесса в определенных органах, короче говоря — причину чувствительности одних органов и рефрактерности других к определенным возбудителям болезни.

Для создания адэкватной питательной среды, как и для сохранения постоянства этой среды, существуют особые приспособления, особые механизмы, которым мы дали общее название гисто-гематические барьеры. Эти барьеры не только контролируют переход из крови в непосредственную питательную среду необходимых для данного органа веществ, но и одновременно способствуют удалению продуктов метаболизма соответствующего органа, накопление которых неминуемо нарушало бы нормальный состав этой среды.

Разумеется, что все то, что может изменять состояние гисто-гематических барьеров, должно изменять и состав соответствующей питательной среды и в связи с этим оказывать определенное влияние и на те элементы, которые живут в данной среде, а следовательно, и на функции соответствующих органов.

Работы, проведенные нами для проверки этого положения, установили наличие тесной связи между нарушением гисто-гематических барьеров и нарушением функционального состояния соответствующих органов. С другой стороны, эти работы показали возможность искусственным образом изменять функциональное состояние этих барьеров, их проницаемость для различных веществ, в том числе и лечебных.

При помощи метода витальной микроскопии удалось изучить влияние ряда химических, физических и физико-химических факторов на состояние и деятельность гисто-гематических барьеров. Полученные результаты показали, что гисто-гематические барьеры обладают большой лабильностью и легко поддаются действию химических и физико-химических агентов, в частности действию различных форм лучистой энергии, более или менее широко применяемых в физиотерапии.

Анатомический субстрат гисто-гематических барьеров, т. е. стенка кровяных капиллярных сосудов, и в первую очередь ее эндотелиальный покров, обладает специфическими, характерными для отдельных органов свойствами. От структурных и функциональных особенностей отдельных капилляров зависит переход различных веществ из крови в непосредственную питательную среду данного органа.

Нарушение нормальной деятельности гисто-гематических барьеров вследствие изменения структурных и функциональных особенностей эндотелия капилляров вызывает нарушения нормального состава соответствующей среды: появление в ней таких веществ, которые в нормальных условиях не проникают туда из крови, а также изменение концентрации и соотношения тех веществ, которые являются обычными составными частями данной среды.

Представление о внутренних барьерах имеет очень большое значение для понимания физиологических явлений и патологических изменений организма.

Само функциональное состояние любого органа, т. е. его трофика, а также влияние, которое на него оказывают другие органы и физиологические системы, находятся в тесной связи с этими барьерами. Увеличение их проницаемости делает любой орган более восприимчивым, более чувствительным и к веществам, которые циркулируют в крови, и к тем, которые вводятся туда с той или другой экспериментальной или терапевтической целью.

Нет сомнения, что токсичность, как и индифферентность данного вещества в отношении определенного органа, тесно связана с состоянием соответствующих гисто-гематических барьеров. Самое понятие иммунитета, или рефрактерности, как и сродства или аффинитета органа к тому или другому патогенному агенту или возбудителю болезни, должно быть пересмотрено.

Экспериментальные данные и клинические наблюдения показывают, что состояние и деятельность отдельных органов и физиологических систем в организме в значительной мере определяются характером непосредственной питательной среды клеток, входящих в их состав.

☆

Химический состав, а также физико-химические и биологические свойства непосредственной питательной среды отдельных органов и тканей зависят не только от тех веществ, которые переходят в эту среду из крови, но и от веществ, которые выделяются в нее из клеток данного органа. Совокупность этих веществ, и специфических, и неспецифических, возникающих в процессе жизнедеятельности клеток, мы называем метаболитами.

В образовании непосредственной питательной среды данного органа, как и в регуляции ее состава, наряду с гисто-гематическими барьерами играют большую роль и те химические и физико-химические процессы, которые протекают внутри данного органа, вернее — внутри входящих в его состав клеток. Совокупность всех этих процессов, среди которых первое место занимают дыхательные процессы, являющиеся главным источником нужной для жизни и деятельности организма энергии, составляет его метаболизм, лежащий в основе обмена между организмом и окружающей средой.

Результатом этого метаболизма является не только превращение химической энергии, содержащейся в сложных органических соединениях, в свободную, или кинетическую, путем расщепления сложных веществ на более простые, но и синтез сложных химических соединений и образование клеточных структур из более простых веществ. Эти процессы тесно связаны между собой и обусловливают друг друга. В частности, немыслимы процессы синтеза (т. е. эндотермические) без одновременно протекающих процессов распада — окисления, как

и гидролиза (т. е. экзотермических), освобождающих нужную для синтеза энергию.

Среди веществ, входящих в состав метаболитов, имеются и такие, которые обладают специфическими свойствами, например ферменты, гормоны и гормоноподобные вещества, или так называемые медиаторы. Последние играют определенную роль в регуляции процессов, протекающих в отдельных органах и лежащих в основе их функций, а также в установлении функциональной связи, т. е. взаимодействия между отдельными физиологическими системами.

Изучение биологической активности метаболитов, их влияния на отдельные физиологические системы и на целый организм выявило их роль в установлении функциональной связи между отдельными органами, т. е. значение гуморального, или химического фактора в механизме регуляции и координации функций организма.

Метаболиты, влияя на характер питательной среды, влияют и на функциональное состояние самой клетки, которая их выделяет. С другой стороны, эти же вещества, переходя из непосредственной питательной среды клетки в оттекающую от данного органа кровь, поступают в общую циркуляцию и, переходя отсюда через гисто-гематические барьеры в непосредственную питательную среду отдельных тканей и органов, оказывают определенное влияние на их состояние и деятельность.

Эта гуморальная связь, устанавливающаяся между отдельными органами, между отдельными физиологическими системами, осуществляет координацию функций организма, основанную на взаимодействии всех органов и физиологических систем, в том числе и нервной системы.

☆

Среди гисто-гематических барьеров особенно изучен барьер, который отделяет непосредственную питательную среду центральной нервной системы от общей внутренней среды. Этому барьеру мы дали название гемато-энцефалического.

Нашими многолетними исследованиями установлено, что непосредственное действие на нервную систему оказывают лишь те вещества, которые из крови проникают в цереброспинальную жидкость, т. е. в непосредственную, или питательную среду нервных центров. Установлено, что многие вещества, нормально существующие в крови, или случайно

туда попавшие, или же введенные в нее с той или другой экспериментальной или терапевтической целью, могут оставаться без всякого влияния на центральную нервную систему, если они не приходят в непосредственный контакт с самой нервной тканью. Эти же вещества оказывают, напротив, иногда очень сильное действие на нервные элементы, когда они попадают в спинномозговой канал.

Высокая степень развития нервных элементов и связанная с этим большая чувствительность ко всякого рода изменениям химических и физико-химических свойств их непосредственной среды создают необходимость особенно тщательной защиты постоянства этой среды.

Охраняющий это постоянство механизм, а именно гемато-энцефалический барьер, обладает в большей степени, чем другие гисто-гематические барьеры, защитной способностью, значительно большей с е л е к т и в н о с т ь ю, т. е. способностью отбора и отсева.

Характерная для гемато-энцефалического барьера селективность выражается в его различном поведении по отношению к веществам, очень близким друг к другу по своим химическим и физико-химическим свойствам, а также к одному и тому же веществу, в зависимости от условий. Эта селективность, которая сильно выражена в отношении перехода веществ из крови в цереброспинальную жидкость, довольно слабо проявляется в отношении обратного перехода — из цереброспинальной жидкости в кровь. Гемато-энцефалический барьер действует некоторым образом наподобие селективного фильтра в направлении: кровь → цереброспинальная жидкость, и наподобие предохранительного клапана в направлении: цереброспинальная жидкость → кровь.

Для объяснения механизма действия гемато-энцефалического барьера были выдвинуты многочисленные теории, но, как показали проведенные нами опыты, ни одна из этих теорий не может полностью объяснить специфическое избирательное действие гемато-энцефалического барьера, который, как и другие гисто-гематические барьеры, представляет сложный, дифференцированный аппарат, состоящий из живых клеток, способных поглощать из окружающей среды те или иные определенные вещества.

Таким образом, проницаемость гемато-энцефалического барьера, как и других гисто-гематических барьеров, является результатом жизнедеятельности его анатомических элементов, чем объясняется и особая селективность, которая не исчезает полностью, а лишь изменяется при

нарушении барьера: проницаемость может увеличиваться для одних веществ и уменьшаться или вовсе не изменяться для других.

Степень, или коэффициент проницаемости гемато-энцефалического барьера является результатом двух противоположных процессов: 1) перехода веществ из крови в цереброспинальную жидкость и 2) их обратного перехода — из цереброспинальной жидкости в кровь. Этот коэффициент, представляющий отношение концентрации данного вещества в цереброспинальной жидкости к его концентрации в крови, для большинства веществ значительно ниже единицы.

Изучение коэффициента проницаемости гемато-энцефалического барьера для отдельных веществ выявило значительные колебания этого коэффициента не только у разных видов животных, но и у отдельных особей одного и того же вида и даже у одного и того же индивидуума в различных физиологических условиях.

Имеющиеся в настоящее время экспериментальные и клинические данные со всей очевидностью показывают, что патологические явления центральной нервной системы обусловлены нарушением нормального состава ее непосредственной питательной среды. Самое развитие патологического процесса является результатом непосредственного действия соответствующего патогенного агента или возбудителя болезни, как токсины, вирусы и т. д., на те или другие части мозга.

☆

Воздействие на патологический процесс, его прекращение и излечение зависят от возможности контакта соответствующих целебных веществ с пораженными участками мозга, т. е. от проникновения этих веществ в непосредственную среду мозга.

Непроницаемость гемато-энцефалического барьера для применяемых в данных случаях лекарственных веществ является причиной неэффективности обычных терапевтических средств. Установлено, что попытки лечения определенных заболеваний центральной нервной системы путем введения определенных лекарственных веществ в общую циркуляцию остаются безрезультатными потому, что гемато-энцефалический барьер сопротивляется переходу этих веществ из крови в спинномозговую жидкость.

Таким образом, гемато-энцефалический барьер, защищающий центральную нервную систему от ряда вредных веществ и, следовательно, предохраняющий мозг от различных заболеваний и от разных нарушений, может стать в определенных условиях препятствием для эффективной борьбы с определенными заболеваниями, с определенными нарушениями нормальной деятельности нервных центров.

Разумеется, в таких случаях необходимо временно устранить это препятствие путем увеличения проницаемости гемато-энцефалического барьера или же обхода самого барьера, т. е. непосредственным введением данного лекарственного вещества в спинномозговой канал, лучше всего — в желудочки мозга.

Изучение состояния гемато-энцефалического барьера в различных физиологических и патологических условиях выявило значительную его изменчивость. Установлено влияние вида, возраста, пола, органов внутренней секреции и вегетативной нервной системы, длительной бессонницы, голодания, утомления, изменения осмотического давления и реакции (pH) крови, инфекций и интоксикаций и т. д. на функциональное состояние и деятельность гемато-энцефалического барьера.

Изменение барьера отмечается и при изменении температуры (перегревание и переохлаждение), а также под влиянием различных видов лучистой энергии: различные участки спектра,. ультракороткие волны, рентген и т. д.

Все эти факторы могут быть использованы в лаборатории, как и в клинике, в тех случаях, когда требуется временное снижение сопротивляемости барьера. Это относится, в частности, к некоторым заболеваниям центральной нервной системы, которые не поддаются обычным методам лечения ввиду сопротивления гемато-энцефалического барьера к переходу лечебного вещества из крови в цереброспинальную жидкость. Повышение проницаемости гемато-энцефалического барьера для соответствующего лечебного вещества делает возможным его контакт с соответствующими нервными элементами.

Уменьшение проницаемости барьера отмечается для ряда веществ, по отношению к которым обычно развивается так называемое п р и в ы к а н и е, например морфий, алкоголь и атропин. Подобной уменьшенной проницаемостью гемато-энцефалического барьера можно объяснить и самое явление привыкания, т. е. уменьшенную токсичность данного веще-

ства для нервных центров или кажущуюся нечувствительность нервных центров к действию данного вещества.

В целом ряде случаев отмечается уменьшение устойчивости гемато-энцефалического барьера по отношению к действию различных агентов, т. е. некоторая лабильность самого барьера. Так, например, отмечено, что у беременных животных гемато-энцефалический барьер значительно легче нарушается под влиянием того или другого химического или физического агента, который в обычных условиях остается без заметного влияния на функции барьера. Такое же явление отмечается по отношению к действию незначительных изменений температуры у животных, хронически отравленных алкоголем. Эти наблюдения имеют практическое значение и, в частности, должны быть учтены в клинике.

Большой интерес представляет установленный нами факт, что у животных, рождающихся с не вполне зрелым мозгом (собака, кролик, кошка, крыса, мышь), защитная функция гемато-энцефалического барьера значительно менее развита к моменту рождения и в раннем возрасте, чем у взрослого животного.

Эти наблюдения наглядно показывают, как по мере дифференцировки, развития данного органа, совершенствуются те механизмы, которые защищают его непосредственную питательную среду от возможных нарушений физико-химического или химического порядка. С другой стороны, эти наблюдения демонстрируют теснейшую связь, существующую между развитием данного органа и развитием соответствующих механизмов, способных создать наиболее адэкватные условия для его деятельности. Защитная функция гемато-энцефалического барьера появляется лишь на определенной стадии развития плода. Можно предположить, что эта недостаточность защиты центральной нервной системы плода компенсируется наличием плацентарного барьера, регулирующего обмен между кровью матери и плодом.

Подобный параллелизм между развитием центральной нервной системы и развитием ее защитного аппарата, т. е. гемато-энцефалического барьера, мы отмечаем и при сравнении деятельности гемато-энцефалического барьера у различных видов животных. Полученные данные указывают на то, что в связи с возрастающим значением центральной нервной системы для жизни и деятельности организма постоянство состава непосредственной питательной среды центральной нервной системы приоб-

ретает все большее значение и в связи с этим дифференцируется и совершенствуется обеспечивающий это постоянство физиологический аппарат, т. е. гемато-энцефалический барьер.

Учитывая, что у человека развитие центральной нервной системы к моменту рождения еще не полностью закончено (миэлинизация отдельных проводящих путей продолжается еще в течение нескольких месяцев), можно априори предположить, что функциональная способность гемато-энцефалического барьера у новорожденного и в первые месяцы после рождения еще не вполне развита.

Имеющиеся клинические наблюдения подтверждают это предположение. На самом деле, известно, что реакция нервных центров на действие целого ряда веществ, введенных в общую циркуляцию с терапевтической целью, у младенца совсем иная, чем у взрослого. Клиническая картина целого ряда заболеваний у ребенка указывает на значительно более легкое проникновение в спинномозговой канал разных токсических веществ, которые у взрослого в этих же условиях через гемато-энцефалический барьер не проходят. Эти наблюдения, помимо теоретического значения, представляют и практический интерес для физиологии и для патологии ребенка.

☆

Подобно другим тканевым жидкостям, состав и свойства цереброспинальной жидкости определяются деятельностью не только гемато-энцефалического барьера, но и самого органа, т. е. мозга.

В самом деле, непосредственная питательная среда любого органа постоянно претерпевает изменения, так как из этой среды клеточные элементы черпают все нужное для своей жизни и деятельности и туда же выделяют продукты своего метаболизма. Принципиальной разницы между мозгом и другими органами или тканями в этом отношении не существует Сравнивая между собой притекающую к данному органу кровь с оттекающей от него кровью, удалось определить характер и свойства образующихся в нем метаболитов в различных физиологических и патологических условиях.

Полученные результаты показали, что характер этих метаболитов в значительной степени зависит от функционального состояния данного органа.

Исследования, проведенные на разных видах животных и в различных условиях, показали, какое большое влияние оказывают малейшие изменения состава и характера непосредственной питательной среды мозга на его функциональное состояние и деятельность, а в связи с этим и на поведение животного. Установлено, что не только введение чужеродных веществ в цереброспинальную жидкость, но и изменения концентрации и соотношений тех веществ, которые входят в нормальный состав этой жидкости, влияют на состояние и деятельность центральной нервной системы. В качестве примера можно привести сильно возбуждающее действие, которое оказывает введение минимальных количеств солей К в спинномозговой канал, а также угнетающее действие, оказываемое увеличением концентрации солей Са.

Отмечена тесная связь, существующая между так называемым «лебовским коэффициентом», т. е. соотношением К/Са в цереброспинальной жидкости, и состоянием нервной системы, в частности вегетативных нервных центров. Состояние возбуждения, как правило, совпадает с повышением этого коэффициента, т. е. увеличением концентрации К, а состояние угнетения совпадает с уменьшением его.

Подобные наблюдения были сделаны также в отношении других веществ, которые принимают участие в нейрогуморальной регуляции и координации функций организма и являются нормальными составными частями цереброспинальной жидкости. Многочисленные экспериментальные данные, как и клинические наблюдения, дали возможность объяснить нарушения нормальной деятельности организма изменением химического состава питательной среды нервных центров.

Результаты, полученные в многочисленных опытах, показали, что искусственным изменением состава цереброспинальной жидкости, в частности введением минимальных доз определенных активных веществ в желудочки мозга, можно изменять функциональное состояние и деятельность отдельных участков центральной нервной системы и соответствующим образом влиять на состояние и поведение животного. Это навело и на мысль о возможности восстановить нормальное функциональное состояние нервных центров соответствующим изменением их питательной среды путем искусственного увеличения проницаемости гемато-энцефалического барьера или же путем введения в нее соответствующих веществ. Положение это нашло свою проверку в кли-

нике при попытках лечения заболеваний, в частности инфекционного характера.

Осуществление непосредственного контакта соответствующих лекарственных веществ с нервными центрами посредством увеличения проницаемости гемато-энцефалического барьера страдает тем недостатком, что очень часто наряду с лечебными веществами могут проникнуть в цереброспинальную жидкость также и нежелательные вещества, от которых в нормальных условиях мозг защищен этим барьером. Отсюда — необходимость по возможности заменить искусственное увеличение проницаемости гемато-энцефалического барьера обходом самого барьера путем введения данного вещества непосредственно в цереброспинальную жидкость.

☆

В многочисленных опытах нами было отмечено, что при воздействии определенными химическими возбудителями непосредственно на нервные центры получается иной эффект, чем при действии теми же веществами на периферические окончания нервов и на связанные с ними эффекторные органы.

Это было отмечено в отношении не только таких веществ, которые через гемато-энцефалический барьер не проникают, но и таких, которые очень легко проходят через этот барьер и являются нормальными составными частями крови и цереброспинальной жидкости, как, например, соли K и Ca и др., относящиеся к вегетотропным веществам, т. е. действующим на вегетативную нервную систему. При обычном способе применения их, т. е. при введении в общую циркуляцию, соли Ca возбуждают симпатическую нервную систему, т. е. оказывают симпатико-миметическое действие, между тем как соли K в этих же условиях возбуждают парасимпатическую нервную систему, т. е. действие их парасимпатико-миметическое.

Установлено, что при непосредственном действии на вегетативные нервные центры, т. е. при введении в цереброспинальную жидкость, эти же соли вызывают противоположный эффект, а именно: соли Ca вызывают парасимпатико-миметический, или ваго-миметический эффект, а соли K в этих же условиях — симпатико-миметический.

Подобный же антагонизм между центром и периферией был отмечен нами и для ряда других, так называемых вегетотропных веществ, из которых значительная часть образуется в самом организме животного, как, например, гормоны (инсулин, тироксин и др.) и гормоноподобные вещества или так называемые медиаторы (ацетилхолин, гистамин и др.), которые принимают участие в регуляции функций отдельных органов и в установлении связи между ними.

Исследования последних лет со всей очевидностью показали, какое большое значение для нормального состояния животного организма имеет нормальное функционирование вегетативных нервных центров. Клиническими наблюдениями установлено, что изменение тонуса этих центров — увеличение и уменьшение их возбудимости и нарушение их взаимоотношений — является одной из важнейших причин целого ряда заболеваний, которые объединяются общим названием «вегетативных неврозов». Отсюда понятно, какое значение имеет для клиники возможность влиять на состояние этих центров — стимулировать или тормозить их деятельность.

Однако попытки лечения этих неврозов различными вегетотропными веществами посредством обычных методов в значительной части случаев не давали желаемого результата. Часто получался даже отрицательный эффект. Это объясняется в значительной степени наличием указанного своеобразного антагонизма между центром и периферией вегетативной нервной системы в отношении их реакции на действие одного и того же химического возбудителя.

Вследствие этого антагонизма данное вегетотропное вещество, способное проникать через гемато-энцефалический барьер в цереброспинальную жидкость, может при введении в общую циркуляцию оказать, помимо своего непосредственного действия на периферические части вегетативной нервной системы, одновременно и антагонистическое действие на нервные центры, в результате чего создается интерференция, которая может свести эффект к нулю.

Работы, проведенные нами в самое последнее время, показали, что действие, оказываемое минимальными количествами активного вещества на нервные центры, полностью устраняет эффект, вызываемый значительно бо̀льшими количествами этого же вещества при действии на соответствующие периферические части вегетативной нервной системы.

При этом необходимо отметить, что при одновременном действии на центры и на периферию влияние центров значительно покрывает собой влияние периферическое, чем объясняется парадоксальный результат, отмечаемый иногда при введении вегетотропного вещества в общую циркуляцию.

Наличие антагонизма между центром и периферией вегетативной нервной системы представляет очень большой теоретический интерес, так как по-новому освещает роль центральной нервной системы в регуляции и координации функций организма, являясь необходимым условием для сохранения той гармонии, без которой немыслимо стройное функционирование сложного животного организма. Именно благодаря наличию антагонизма центральная нервная система может успешно выполнять свою ведущую роль в регуляции и координации функций организма.

☆

Возможность детального изучения состава и свойств непосредственной среды отдельных органов и тканей животного организма тесно связана с внедрением физических, химических и физико-химических методов исследования в биологию. Открытые закономерности, в частности наличие тесной связи между составом и характером этой среды и состоянием и деятельностью соответствующих органов, не только представляют большой теоретический интерес, но и открывают широкие перспективы для возможности активного вмешательства в те физиологические и патологические процессы, которые протекают внутри самой клетки и определяют собой состояние и деятельность всего организма.

Изменения состава и свойств непосредственной среды отдельных органов можно добиться воздействием на те механизмы, которые ограждают ее от крови, т. е. на гисто-гематические барьеры. Изменяя проницаемость гисто-гематических барьеров для определенных веществ, можно облегчить или затруднить переход этих веществ из крови в непосредственную среду данного органа и одновременно облегчить или затруднить удаление из нее шлаков. Другими словами, можно таким образом облегчить или затруднить обновление непосредственной среды. Подобным влиянием на состав и свойства непосредственной среды отдельных органов и тканей можно объяснить благотворное действие различных физиотерапевтических

мероприятий, как, например, облучения ультрафиолетовыми лучами, оказывающих явное влияние на проницаемость гисто-гематических барьеров и способствующих обмену между непосредственной средой органов и тканей (тканевой жидкостью) и кровью.

Прямое вмешательство в состав и свойства непосредственной среды органов введением в нее определенных веществ возможно лишь в редких случаях, ввиду технических трудностей, мешающих проникновению в эту среду и не дающих возможности получить тканевую жидкость в достаточном количестве и в достаточно чистом виде для соответствующих исследований. Исключение составляет в этом отношении непосредственная среда мозга, т. е. цереброспинальная жидкость, которая очень легко доступна для всякого рода вмешательств — и экспериментальных, и лечебных.

Целый ряд экспериментальных данных, показавших возможность изменить состояние животного изменением состава и свойств цереброспинальной жидкости путем введения в нее определенных веществ, были проверены и подтверждены в клинике. В качестве примера можно привести успешные результаты, полученные при лечении соответствующими специфическими сыворотками таких заболеваний, как сезонный энцефалит, энцефаломиэлиты, менингиты, столбняк и другие поражения центральной нервной системы инфекционного характера, которые обычным методам лечения не поддаются ввиду наличия гемато-энцефалического барьера.

Введение лекарственного вещества в цереброспинальную жидкость дает также хорошие результаты при лечении таких заболеваний, которые связаны с поражением вегетативных нервных центров, как, например, шок и шокоподобные состояния и разные вегетативные неврозы, вызванные изменениями тонуса вегетативных нервных центров, сопровождающимися соответствующими изменениями состава и свойств цереброспинальной жидкости. В этих случаях часто удается получить хорошие результаты введением минимальных количеств соответствующего лекарственного вещества в цереброспинальную жидкость, пользуясь для этой цели цистернальным проколом.

При соблюдении определенных правил техники эта методика дает возможность введенному веществу проникнуть в полости желудочков мозга, что является необходимым условием для действия вещества на

расположенные в желудочках жизненно важные вегетативные нервные центры.

☆

Из всего сказанного следует, что значение непосредственной среды — ее состава и свойств, так же как и регулирующих ее физиологических механизмов, не может быть недооценено. Любые вопросы, касающиеся жизни, деятельности, роста и развития, молодости и старости животного организма, не исключая и человека, не могут быть решены без учета непосредственной среды отдельных органов и тканей, без учета влияния, которое оказывают на организм изменения состава и свойств этой среды.

Возможность влиять на состав и свойства этой среды, а также и на определяющие ее условия лежит в основе управления функциями сложного животного организма, их направления и исправления.

Академик
А. В. Палладин

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО БИОХИМИИ МЫШЦ И НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ



дним из путей изучения роли различных веществ в биохимизме какой-либо ткани или органа, выяснения связи между определенными процессами обмена веществ и функцией данной ткани является исследование влияния различных условий на химический состав (содержание определенных веществ) и на химические процессы в данной ткани или органе.

В работах по исследованию биохимии мышц и нервной системы, проведенных мною и моими учениками за 30 лет, истекших после Великой Октябрьской революции, мы изучали главным образом влияние различных условий на содержание в мышечной ткани и в ткани головного мозга ряда азотистых и безазотистых веществ и на некоторые процессы азотистого и фосфорного обмена, а также на содержание и активность ряда ферментов, играющих важную роль в процессах обмена веществ.

Одним из веществ, привлекавших к себе с давних пор внимание исследователей, роль которого в мышечной и нервной ткани долгое время оставалась загадочной, является креатин. Это азотистое вещество содержится в значительных количествах в мышцах и в центральной нервной системе: содержание креатина в различных поперечнополосатых мышцах колеблется в пределах от 200 до 550 мг%; в головном мозгу креатина содержится 129—140 мг%.

После того как наши исследования (А. Палладин) показали, что креатину принадлежит определенное место в химической динамике мышц и что он, следовательно, не является просто конечным продуктом обмена, подлежащим выведению из организма, как думали многие исследователи, мы, естественно, стали изучать детальнее его содержание и превращения в мышечной ткани, а также и в нервной ткани при различных условиях.

Мы установили прежде всего, что содержание креатина в мышцах увеличивается после понижения температуры тела кроликов при помощи холодной ванны (А. Палладин и А. Кудрявцева). Далее было найдено, что содержание креатина в мышцах увеличивается при голодании, причем сначала содержание креатина все время повышается, а затем, в последний период голодания, начинает падать, но все же остается повышенным по сравнению с нормой (А. Палладин и С. Эпельбаум).

Ярким доказательством того, что креатину принадлежит определенная роль в химической динамике мышц, явились опыты с экспериментальной тетанией, которую мы вызывали путем экстирпации околощитовидных желез или впрыскиванием гуанидина; такая экспериментальная тетания всегда сопровождалась повышением содержания креатина в мышцах, причем это повышение было тем бо̀льшим, чем сильнее были мышечные судороги (А. Палладин и Л. Грилихес). Если при гуанидиновой тетании (т. е. тетании, вызванной впрыскиванием гуанидина) впрыснуть животному соли кальция и прекратить таким путем судороги, то содержание креатина в мышцах вновь возвращается к норме. Эти наши данные опровергли мнение Патона о том, что повышенное содержание креатина в мышцах и креатинурия при тетании обусловливается превращением гуанидина в креатин.

Содержание креатина в мышцах повышается также при углеводном голодании.

Все эти данные подтвердили мысль о том, что креатину принадлежит вполне определенная роль в химизме мышечной деятельности. Эта мысль была высказана нами еще в 1922 г. и была подтверждена нашими исследованиями по влиянию тренировки мышц на содержание в них креатина (А. Палладин и Д. Фердман). Исследования показали, что при тренировке, повышающей работоспособность мышцы, последняя обогащается креатином и что, следовательно, креатин является веществом, превра-

щения которого связаны с обменом энергии в мышцах. Наше заключение было полностью подтверждено после открытия в мышцах креатинофосфорной кислоты и выяснения ее роли в химической динамике мышц.

Изучая роль и превращения креатинофосфорной кислоты в мышцах при разных условиях, наши сотрудники нашли, что ее содержание повышается при тренировке; таким образом, при тренировке не только увеличивается общее количество креатина в мышцах, но также повышается процент креатина, связанного с фосфорной кислотой.

Если животное оказывается в условиях авитаминоза, то это отражается на обмене креатина в мышцах, причем различные авитаминозы влияют не одинаково. При скорбуте (цынге), в последний его период, когда у животного наблюдаются явления мышечной слабости и оно лежит без движения, содержание креатинофосфорной кислоты в мышцах оказывается пониженным (А. Палладин и С. Эпельбаум). Такие же результаты получаются при хронических формах полиневрита, связанных с истощением и явлениями мышечной слабости; наоборот, при острых формах полиневрита, сопровождающихся сильными мышечными судорогами, содержание креатинофосфорной кислоты в мышцах оказывается повышенным. Таким образом, изменения в содержании креатинофосфорной кислоты в мышцах зависят не от специфического влияния отсутствия того или иного витамина на креатинофосфат мышц, а от того, как это отсутствие влияет на процессы обмена веществ, связанные с обменом энергии в мышцах. Исследования над зимнеспящими животными показали, что во время зимней спячки, когда все функции организма ослаблены и когда работоспособность мышц очень понижена и они отвечают на раздражение очень слабыми и медленными сокращениями, содержание креатинофосфорной кислоты в мышцах оказывается сильно уменьшенным (Д. Фердман и О. Файншмидт).

После денервации одной конечности, мышцы которой, не получая нервных импульсов, оказываются в состоянии большего покоя, чем мышцы другой — неденервированной конечности, мышцы денервированной конечности содержат больше креатинофосфорной кислоты, чем соответствующие мышцы другой конечности (А. Палладин и Р. Сигалова).

Все эти исследования подтвердили участие креатина и креатинофосфорной кислоты в процессах обмена веществ в мышцах, связанных с мышечной деятельностью, т. е. с сокращениями мышц.

Креатин, как сказано было выше, содержится в значительном количестве также в ткани головного мозга, который в этом отношении превосходит все остальные органы тела животного. Между тем до 20-х годов настоящего столетия среди работ, посвященных изучению химии нервной системы, нельзя было найти исследований, в которых изучался бы креатин головного мозга. Ввиду этого мы, параллельно с работами, посвященными изучению креатина мышц, предприняли исследования и над креатином головного мозга, поставив себе задачей выяснить влияние различных условий на обмен креатина в ткани головного мозга.

В этом направлении прежде всего было изучено влияние авитаминозов — полиневрита и скорбута. Исследования показали, что при отсутствии в пище голубей витамина B_1, т. е. при полиневрите, изменения в содержании креатина в головном мозгу наступают только в том случае, если в результате полиневрита возникают характерные расстройства функций нервной системы. Чем сильнее расстройства функций нервной системы, тем резче изменения в содержании креатина (тем больше повышено его содержание). Вследствие этого расстройства креатинового обмена в головном мозгу оказываются наиболее резкими при спастической форме полиневрита (Т. Любарская). Другой авитаминоз, а именно экспериментальная цынга, или скорбут, не вызывает подобных изменений в содержании креатина в головном мозгу (А. Палладин и Е. Савронь); это отсутствие изменений в обмене креатина следует поставить в связь с отсутствием при скорбуте расстройств в деятельности нервной системы, характерных для острых форм полиневрита. При скорбуте содержание креатина в мозгу не отличается от нормы. Эти данные говорят о том, что изменения функционального состояния головного мозга оказываются связанными с изменениями в обмене креатина.

О том же говорили результаты исследований с адреналином, флоридзином и гуанидином. Исследования с флоридзином и адреналином (С. Эпштейн) показали, что нарушения углеводного обмена в животном организме, сопровождаемые расстройствами в обмене креатина в мышцах, не влияют на обмен креатина в головном мозгу. Причина этого, повидимому, лежит в том, что адреналин и флоридзин не влияют на углеводный обмен в головном мозгу и не нарушают функции головного мозга.

Расстройства креатинового обмена в мышцах не вызывают изменений в обмене креатина в головном мозгу. Так, впрыскивание кроликам и

голубям гуанидина, вызывавшее увеличение содержания креатина в мышцах, не сопровождалось изменениями в содержании креатина в головном мозгу (О. Файншмидт).

На содержание креатина в головном мозгу влияет голодание, вызывая обогащение мозга креатином.

Голодание вызывает изменения и в содержании ряда других веществ в головном мозгу, и в нормальном течении процессов обмена веществ. При этом в различных отделах мозга изменения, вызываемые голоданием, не одинаковы. Так, при голодании уменьшается общее количество фосфора в truncus opticus головного мозга кошек, а в других участках (двигательные центры, слуховой центр) таких изменений не наблюдается. Содержание липоидов при голодании уменьшается в различных частях головного мозга, но не в равной степени (Г. Городисская).

При голодании наблюдаются изменения в процессах распада белковых веществ (в протеолитических процессах) в головном мозгу, причем процессы протеолиза изменяются не одинаково в разных его частях (А. Палладин, Д. Цуверкалов, М. Гулый): в сером веществе больших полушарий процессы распада белковых веществ уменьшаются, а в белом веществе увеличиваются.

Эти исследования, показывая, что голодание вызывает изменения в содержании ряда веществ в сером и белом веществе головного мозга и в протекающих в них процессах обмена веществ, делают понятными расстройства психической деятельности при голоде.

Обмен креатина в головном мозгу находится в зависимости также от таких условий, как время года. Опыты с голубями показали, что весной и осенью содержание креатина в их мозгу было различно (А. Палладин и М. Гулый). В мозгу голубей, убитых в марте и в начале апреля, было больше воды, и процессы протеолиза шли интенсивнее, чем в конце мая и в июне. Таким образом, зимой и летом наблюдаются определенные отличия в процессах обмена веществ в мозгу.

Подобные же данные были получены с кроликами; и у них осенью в головном мозгу было больше креатина, чем весной. Такие же различия в составе мозга наблюдаются и у эмбрионов кроликов: мозг эмбрионов осенью содержит больше креатина, чем весной; не одинаковым бывает и содержание сухого вещества (А. Палладин и Е. Рашба).

На белковый обмен головного мозга оказывает влияние температура окружающей среды. Исследования, проведенные над кроликами, помещенными в тепловую камеру на 3 часа при температуре 40°, показали повышение интенсивности протеолитических процессов в сером и белом веществе больших полушарий мозга, а также в среднем мозгу и мозжечке (С. Эпельбаум).

Так как изучение креатинового обмена в мышцах показало, что он меняется в результате тренировки и что, значит, тренировка является условием, способным влиять на процессы обмена веществ в мышцах, нами было предпринято детальное изучение биохимии тренировки с целью установить, какие изменения в содержании различных веществ и в нормальном течении процессов обмена веществ отличают тренированную мышцу от нетренированной, а также от мышцы, утомленной в результате продолжительной работы.

Исследования показали, что в тренированных мышцах увеличено содержание карнозина (П. Нормарк, Е. Савронь, Б. Колдаев), фосфатидов (Б. Колдаев и Р. Гельман), холестерина (С. Эпельбаум и Б. Хайкина), натрия, кальция и магния, а содержание калия понижено (Ф. Кручакова). В утомленных мышцах содержание холестерина понижено, а содержание калия повышено.

Далее было подтверждено обнаруженное Эмбденом обогащение тренированной мышцы гликогеном (А. Палладин и Д. Фердман). Таким образом, в результате тренировки мышцы обогащаются веществами, играющими энергетическую роль.

Под влиянием тренировки в мышцах создаются более благоприятные условия для процессов окисления и синтеза. Об этом говорит тот факт, что в предварительно тренированной мышце содержание молочной кислоты после работы или увеличивается очень незначительно, или совсем не увеличивается, в то время как работа такой же интенсивности вызывает в мышце другой конечности (нетренированной) кролика сильное увеличение содержания молочной кислоты (А. Палладин, Л. Палладина и Е. Персова).

О влиянии тренировки на окислительно-восстановительные процессы говорит обогащение тренированных мышц глютатионом (А. Палладин и Л. Палладина), аскорбиновой кислотой (Б. Колдаев) и флавинами (Э. Сорени и О. Чепинога).

В тренированной мышце увеличивается общая окислительно-восстановительная (дегидразная) активность (А. Палладин и А. Кашпур), в чем участвуют ферменты сукциндегидраза и дегидраза α-фосфоглицериновой кислоты, активность которых в результате тренировки повышается (О. Чепинога). Повышается также содержание фермента каталазы (А. Палладин и Е. Рашба); повышается дыхание мышечной ткани, причем главным образом увеличивается после тренировки дыхание, резистентное к синильной кислоте (Э. Сорени). Повышается при тренировке анаэробный и аэробный гликолиз в результате повышения активности гликолитической ферментной системы, а также увеличения содержания гликогена.

Тренировка оказывает влияние не только на окислительные процессы в мышце, но и на синтетические процессы в ней.

Утомительная работа, наоборот, ухудшает в мышце условия для процессов синтеза, о чем говорит понижение способности к синтезу фосфорных соединений (Б. Колдаев) и к синтезу парных соединений фенола (А. Палладин и Л. Палладина). Утомительная работа нарушает также окислительные процессы.

Эти исследования выясняют, почему тренированная мышца оказывается более работоспособной; иначе говоря, выясняют, какие изменения в процессах обмена веществ обусловливают более значительную работоспособность тренированной мышцы. Из сказанного видно, что если работает мышца, предварительно тренированная, то утомительная работа, нарушающая нормальный ход окислительных и синтетических процессов (что и связано с наступлением утомления), встречаясь в тренированной мышце с улучшенными условиями для окислительных и синтетических процессов и нарушая их, не может довести это нарушение до такого состояния, какое имеет место в нетренированной мышце, а доводит их только до состояния нормы или делает слегка ухудшенными по сравнению с нормой; в силу этого тренированная мышца не обнаруживает так скоро утомления и, следовательно, оказывается более работоспособной.

Дальнейшие наши исследования показали, что изменения в биохимизме мышц, связанные с тренировкой или утомительной работой, можно уменьшать или увеличивать с помощью изменений в составе пищевых рационов. К числу таких изменений можно отнести устранение из пищи витамина С. При бедности пищи витамином С ухудшение окислительных

и синтетических процессов, вызываемое утомительной работой, бывает более резким, а улучшение условий для процессов окислений и синтеза, наступающее в результате тренировки, бывает гораздо более слабо выраженным (Л. Палладина и Б. Хайкина).

Уменьшить расстройства в обмене веществ, вызываемые утомительной работой, и увеличить изменения в химических процессах, наступающие при тренировке, можно, сделав пищу более кислой, т. е. увеличив количество анионов в ней. Щелочные рационы оказывают обратное влияние (А. Палладин, Л. Палладина, М. Гулый).

После утомительной работы у «щелочных» кроликов обнаруживаются также более значительные нарушения гликолитических процессов, изменения проходимости клеточных мембран и расстройства в водном балансе мышц. Это также говорит о том, что условия для работы при кислом питании, повидимому, лучше, чем при щелочном (М. Гулый).

Эти исследования выдвинули для дальнейшего изучения и разрешения теоретически и практически важный вопрос о возможности соответствующим подбором пищевых рационов уменьшать или увеличивать изменения в обмене веществ в мышцах, связанные с работой или тренировкой, иначе говоря — создавать более благоприятные условия для работающих или тренируемых мышц. С другой стороны, эти данные подчеркивают, насколько важно обеспечить достаточным количеством витамина С людей, занимающихся физическим трудом, спортом, физической культурой, или находящихся в боевой обстановке.

Среди процессов, играющих энергетическую роль в мышцах, большое значение имеет процесс распада аденозинтрифосфорной кислоты. Наши исследования показали (Н. Глушакова), что содержание аденозинтрифосфорной кислоты при тренировке мышц не изменяется; утомительная работа вызывает глубокий распад этой кислоты.

Утомительная работа мышцы, которая была предварительно тренирована, вызывает незначительный распад аденозинтрифосфорной кислоты; это зависит от того, что в результате тренировки в мышце создаются благоприятные условия для ресинтеза аденозинтрифосфорной кислоты, заключающиеся в том, что в результате тренировки мышцы обогащаются креатинофосфорной кислотой, в них интенсивнее протекает гликолиз и связанный с ним гликолитический ресинтез аденозинтрифосфорной кислоты; кроме того, в мышце повышено потребление кислорода и,

следовательно, повышен оксибиотический ресинтез фосфорных соединений.

В дальнейших исследованиях мы предприняли изучение обмена веществ в мышцах, в частности углеводного обмена в условиях эмбриогенеза. Исследования показали, что процессы углеводного обмена, а именно гликолитический процесс, в мышцах эмбрионов (цыплят) и новорожденных животных протекают несколько иначе, чем в мышцах взрослых животных: мышцы во время эмбрионального развития отличаются лучшим использованием глюкозы, при одновременном наличии некоторого образования молочной кислоты из гликогена. Эти данные говорят как будто в пользу существования в мышцах эмбрионов двух путей гликолиза (Е. Рашба).

При образовании мышцами эмбрионов молочной кислоты из глюкозы не удается обнаружить промежуточных фосфорилированных продуктов (Е. Рашба). Так как мышцы во время эмбриональной жизни животного могут гликолизировать и фосфорилировать гликоген, то можно думать, что отсутствие фосфорилирования глюкозы зависит не от недостаточности ферментной системы фосфорилирования, а от того, что гликолиз глюкозы в эмбриональных мышцах протекает без фосфорилирования.

При изучении биохимии нервной системы мы также исследовали химический состав и обмен веществ головного мозга на различных стадиях онтогенетического развития.

Исследования над мозгом эмбрионов кроликов и морских свинок обнаружили (А. Палладин и Е. Рашба) более высокое содержание азота и креатина по сравнению с мозгом взрослого животного. В течение эмбрионального развития содержание этих веществ падает. В постэмбриональный период продолжается дальнейшее уменьшение азота и креатина, содержание которых вскоре доходит до величин, характерных для мозга взрослого животного.

Эти исследования установили также, что химический состав различных отделов головного мозга у коров не одинаков начиная с третьего месяца эмбрионального развития (более ранние стадии не исследовались), т. е. еще задолго до миэлинизации, а тем более до рождения. Этим было опровергнуто мнение прежних исследователей, считавших, что до миэлинизации или даже до рождения различные отделы головного мозга одинаковы по химическому составу.

Вместе с тем был установлен еще один важный факт, а именно, что нервные клетки и их отростки (осевые цилиндры) имеют различный химический состав (А. Палладин и Е. Рашба).

Исследования головного мозга кур начиная с девятого дня инкубации, а также в постнатальный период развития, показали (С. Эпельбаум и Б. Хайкина), что для мозга кур в эмбриональный период развития характерно высокое содержание ряда фосфорных соединений, в том числе аденозинтрифосфорной и креатинофосфорной кислот, содержание которых в мозгу интенсивно уменьшается по мере развития животного.

Аналогичные данные были получены и с мозгом кроликов (С. Эпельбаум, Э. Сквирская и Б. Хайкина). Было найдено прежде всего, что в тканях головного мозга содержатся такие же фосфорные соединения, какие были обнаружены в мышцах; состав и содержание этих фосфорных соединений по мере онтогенетического развития мозга меняются. В первые дни после рождения мозг кроликов содержит много аденозинтрифосфорной кислоты (а также креатинофосфорную кислоту); содержание ее постепенно падает настолько, что в мозгу взрослых животных ее не удается обнаружить, что и привело прежних исследователей к заключению об отсутствии аденозинтрифосфорной кислоты в мозговой ткани, чем она будто бы отличается от мышечной ткани.

Большое содержание фосфорсодержащих веществ в мозгу в период активного роста животного (в первое время после рождения) связано не только с морфологическими особенностями мозга, изменяющегося в процессе роста, но и находится, по всей вероятности, в тесной связи с особенностями обмена веществ в головном мозгу до рождения и в первое время после рождения, возможно с интенсивно протекающими в эмбриональной мозговой ткани гликолитическими процессами.

Действительно, гликолитическая активность мозговой ткани меняется на различных стадиях онтогенетического развития мозга (С. Эпельбаум и Э. Сквирская): максимальная гликолитическая активность наблюдается в мозгу эмбрионов; несколько меньше она в мозгу новорожденного животного (кролика); затем, по мере развития животного, гликолитическая активность падает, доходя вскоре до величин, характерных для мозга взрослого животного.

Сопоставление этих результатов с приведенными выше данными относительно изменений фосфорных соединений в мозгу на различных ста-

диях онтогенеза показывает, что наибольшее содержание фосфорных соединений, которые принимают участие, судя по результатам опытов с мышцами, в гликолитическом процессе, наблюдается в период наибольшей гликолитической активности мозга.

Эти данные говорят в пользу участия фосфора в обмене углеводов в ткани головного мозга; между тем, в литературе высказывалось мнение о том, что гликолиз в нервной ткани протекает без образования промежуточных фосфорсодержащих соединений.

Исследования, проведенные с целью выяснения этого вопроса, показали как наличие, при обмене углеводов, в ткани головного мозга ряда реакций гликолиза, протекающих с участием фосфора (Б. Хайкина, С. Эпельбаум и Э. Сквирская), так и возможность превращения углеводов в нервной ткани без участия фосфора (Б. Хайкина).

Нервная ткань потребляет и глюкозу, которая, с одной стороны, может явиться продуктом для синтеза гликогена, а с другой — может подвергаться распаду до образования конечных продуктов обмена веществ, и гликоген — запасный углевод, легко подвергающийся распаду.

Реакции распада и синтеза гликогена катализируются ферментом фосфорилазой. Изучение фосфорилазы головного мозга показало (Б. Хайкина), что она катализирует синтез 1—4-глюкозидных связей и что образующиеся под влиянием фосфорилазы полисахариды отличаются друг от друга количеством этих глюкозидных связей; благодаря этому при различных условиях фосфорилаза головного мозга синтезирует полисахариды разной сложности, окрашивающиеся иодом различно.

Наряду с фосфорилазой в головном мозгу находится фермент амилаза, под влиянием которого происходит гидролитическое расщепление гликогена с образованием глюкозы. Вследствие этого гликоген в головном мозгу может подвергаться как фосфоролизу, так и гидролизу (Е. Рашба).

Образующаяся в результате фосфоролиза гликогена глюкозофосфорная кислота подвергается дальнейшему превращению под влиянием фермента фосфоглюкомутазы. Установлено, что этот фермент содержится в ткани головного мозга на всех стадиях онтогенетического развития (А. Палладин и Б. Хайкина).

Использование нервной тканью глюкозы осуществляется при участии фермента гексокиназы, который содержится в головном мозгу как

взрослых животных, так и эмбрионов и в мозгу животных в первые периоды постнатального развития (А. Палладин и Б. Хайкина).

Изучая влияние различных условий на биохимию головного мозга, можно подобрать такие условия, под влиянием которых наступают изменения функционального состояния нервной системы; в таком случае можно было бы установить связь между изменениями в деятельности головного мозга и определенными происходящими в нем биохимическими процессами.

Для изменения функционального состояния мозга раньше обычно прибегали к таким сильным воздействиям, как раздражение электрическим током, отравление различными веществами и т. п., т. е. к воздействиям не физиологическим, которые могли вызвать не только изменения в деятельности мозга, но и изменения в его строении.

Первой попыткой использовать физиологические факторы были исследования над зрительными центрами коры больших полушарий кошек, в которых ослабление и усиление деятельности центров коры достигалось путем зашивания век у котят (Г. Городисская); у слепых и зрячих котят изучались процессы протеолиза в зрительных центрах коры, а также в проводящих зрительных путях и в других центрах коры. Исследования показали, что у котят, зрительные центры которых находились в состоянии покоя в результате зашивания век (что вело к прекращению действия на зрительные центры световых раздражений), процессы протеолиза всегда были понижены по сравнению с интенсивностью протеолиза в зрительных центрах зрячих котят; понижены они были и в проводящих зрительных путях и оставались без изменения в других нервных центрах головного мозга.

Таким образом, опыты показали, что переход зрительных центров из состояния относительного покоя в состояние повышенной деятельности под влиянием световых раздражений сопровождается усилением процессов протеолиза, т. е. процессов распада белковых веществ.

Аналогичные результаты были получены и для слуховых центров коры больших полушарий. Переход слуховых центров из состояния относительного покоя в состояние более интенсивной деятельности под влиянием слуховых раздражений, приносимых из органов слуха, оказывается связанным с усилением процессов распада белковых веществ в этих нервных центрах.

Физиологическими изменениями функционального состояния мозга являются также те изменения, которые наступают в мозгу животных под влиянием зимней спячки. Во время зимней спячки деятельность головного мозга понижена: скорость передачи нервного возбуждения у животных, находящихся в состоянии зимней спячки, сильно замедлена.

Изучение содержания некоторых веществ в различных частях головного мозга (белое и серое вещество больших полушарий, мозжечок) и процессов протеолиза показало (Д. Фердман и О. Файншмидт), что у сусликов, находящихся в состоянии зимней спячки, в головном мозгу понижено содержание фосфорсодержащих веществ и снижена интенсивность протеолитических процессов.

Эти исследования вместе с указанными выше работами, в которых изучался обмен креатина в головном мозгу в условиях авитаминоза, говорят о том, что изменения в деятельности головного мозга связаны с определенными изменениями в содержании ряда веществ и в ходе процессов обмена веществ и позволяют составить представление о роли определенных биохимических процессов в функции нервной системы.

Раньше, например, считали, что специфическими веществами нервной ткани, связанными с ее функцией, являются липоиды; такое мнение установилось после того как было найдено, что нервная ткань богата липоидами и что в ее составе имеются такие представители липоидов, которые не встречаются в других тканях.

Наши исследования, равно как и исследования других авторов, показали, что больше всего липоидов содержится в периферических нервах, затем в спинном мозгу; на последнем месте стоит головной мозг, в котором больше липоидов в белом веществе и меньше — в сером. В противоположность этому, наиболее богато белками серое вещество головного мозга, затем его белое вещество и далее спинной мозг; меньше всего белков в нервных волокнах. Таким образом, наиболее старый филогенетически отдел серого вещества, а именно серое вещество спинного мозга, является более бедным азотом, а филогенетически наиболее молодой и функционально наиболее сложный отдел — серое вещество больших полушарий — содержит наибольшее количество азотистых (белковых) веществ.

О важной роли белков в нервной системе говорят также данные о постепенном повышении содержания белковых веществ в головном мозгу в филогенетическом ряду (Абдергальден и Вейль), равно как и данные

об уменьшении содержания азотистых веществ с возрастом (Г. Городисская).

Если с этими данными сопоставить наши данные о том, что при усилении деятельности нервных центров усиливаются процессы распада белковых веществ в них, равно как и данные о связи креатинового обмена с деятельностью головного мозга, то станет ясно, что в нервной системе особо важную роль играют белковые вещества и что изменения функционального состояния головного мозга связаны с изменениями в процессах обмена белковых веществ.

Таковы главные результаты наших исследований биохимии мышц и нервной системы, проведенных при разных условиях в Институте биохимии АН УССР в течение последних 30 лет.

Эти исследования выяснили ряд принципиальных вопросов биохимической статики и динамики мышечной и нервной систем. Многие результаты нашли применение в практике. При изучении поставленных нами задач возникли новые вопросы, которые нуждаются в дальнейшем исследовании.

На разрешение как вновь возникших вопросов, так и не вполне изученных и не разрешенных до конца старых, на дальнейшую увязку научных исследований в области биохимии мышечной и нервной ткани с задачами социалистической практики и будет направлена наша дальнейшая работа в области биохимии. Нет сомнения, что стоящие на очереди перед советской биохимией вопросы, в том числе и вопросы биохимии мышечной и нервной деятельности, будут разрешены советскими биохимиками в кратчайшее время, что советские биохимики сумеют в короткий срок выполнить завет великого Сталина «не только догнать, но и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны», ибо для передовой советской науки, «которая готова передать народу все завоевания науки, которая служит народу не по принуждению, а добровольно, с охотой», нет ничего невозможного.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Е. Глушакова.* Содержание аденозинтрифосфорной кислоты в мышцах при различных функциональных состояниях. Біохім. журн., *XV*, 1940, 2—3.
2. *Г. Я. Городиська.* До біохімії функціонального стану нервових центрів. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *I*, 1926, 91.

3. *Г. Я. Городиська.* Вміст креатинфосфорної кислоти в мозку різних тварин. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928, 109.
4. *Г. Я. Городиська.* Вплив голоду на хімічний склад мозку кішки. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928, 125.
5. *Г. Я. Городиська* і *С. Ф. Епштейн.* Органічні фосфорні сполуки мозку. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *V*, 1930, 101.
6. *Г. Я. Городиська* і *Т. Любарська.* Хімічна топографія мозку. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *I*, 1928, 3, 115.
7. *М. Ф. Гулий* Вплив кислого і лужного харчу на оксидаційні процеси мускулів при роботі і тренуванні. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 2.
8. *М. Ф. Гулий.* Гліколітичні здатності і зміни проникливості клітинних мембран утомлених мускулів в умовах кислого і лужного харчування. Біохім. журн., *XI*, 1928, 2.
9. *М. Ф. Гулий.* Глікотичні процеси в тренованих мускулах. Біохім. журн., *XI*, 1938, 3.
10. *М. Ф. Гулий.* Дослідження стану гліколітичних ферментів у втомлених мускулах при лужній і кислій їжі. Біохім. журн., *XIII*, 1939, 3.
11. *М. Ф. Гулий* і *С. І. Новікова.* Дослідження глікогену мускула при втомі в умовах кислого і лужного корму. Біохім. журн., *XII*, 1938, 3.
12. *С. Е. Епельбаум.* Вплив високої температури навколишнього середовища на азотистий обмін у головному мозку. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 1055.
13. *С. Е. Епельбаум* і *Е. В. Сквирська.* Гліколіз у мозку тварин різного віку. Біохім. журн., *XV*, 1940, 233.
14. *С. Е. Епельбаум, В. Й. Хайкіна* і *Е. В. Сквирська.* Вплив віку на фосфорні сполуки мозку. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 613.
15. *С. Е. Епельбаум* і *В. Й. Хайкіна.* Вплив роботи і тренування на вміст холестерину в мускулах. Біохім. журн., *X*, 1938, 5.
16. *С. Е. Епельбаум* і *В. Й. Хайкіна.* Фосфорні сполуки в головному мозку курей на різних ступенях ембріонального і постембріонального розвитку. Укр. біохім. журн., *XI*, 1938, 277.
17. *Б. М. Колдаев.* Вплив тренування на зміни синтетичної властивості мускулів після роботи. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 3—4.
18. *Б. Колдаев.* Про зміни вмісту карнозину в мускульній тканині. Укр. біохім. журн., *X*, 1937, 4.
19. *Б. Колдаев* і *Р. Гельман.* Вплив утомної роботи і тренування на вміст аскорбінової кислоти в мускулах. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 3.
20. *Б. Колдаев* і *Р. Гельман.* Зміни вмісту фосфатидів у робочому мускулі. Біохім. журн., *X*, 1938, 5.
21. *Ф. А. Кручакова.* Вплив функціональних змін мускулів на вміст в них натрію, калію, кальцію та магнію. Біохім. журн., *XII*, 1938, 2.
22. *Ю. В. Лахно.* Вплив утомної роботи на вміст креатинфосфатної кислоти в мускулах птиць. Біохім. журн., *XI*, 1938, 2.

23. *Любарська.* Креатиновий обмін у мозку при голоді і поліневриті. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *I*, 1926.
24. *М. Ф. Мережинський.* Вплив С-авітаминозу на спричинювані втомною роботою і тренуванням зміни в процесах оксидоредукції в мускулах. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 4.
25. *П. Нормарк* та *О. Саврон*ь. Роль карнозину при м'язевій діяльності. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *V*, 1930, 2.
26. *А. В. Палладин.* Исследования по биохимии мышечной тренировки, Физиол. журн. СССР, *XIX*, 1935, 287.
27. *А. В. Палладин.* Биохимия мышечной деятельности. Усп. совр. биол., *VII*, 1937, 3.
28. *А. В. Палладин.* Современное состояние биохимии мышечной и нервной системы и ее развитие в СССР за 20 лет после Великой Октябрьской социалистической революции. Физиол. журн. СССР, *XXIII*, 1937, 4—5.
29. *А. Палладін, С. Боржовський* і *Л. Палладіна.* Втомна робота і оксидаційні процеси. Укр. біохім. журн., *VII*, 1933, 1; 1933, 3—4; Врач. дело, 1931.
30. *А. В. Палладін* і *М. Ф. Гулий.* Вплив голоду на процеси аміногенезу і протеолізу в головному мозку тварин. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 73.
31. *А. В. Палладін* і *С. Е. Епельбаум.* Про вміст креатинфосфорної кислоти в білих та червоних м'язнях. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928; Z. f. physiol. Chem., *178*, 1928, 179.
32. *А. Палладін* і *С. Епельбаум.* Про вплив скорбуту та поліневриту на вміст креатинфосфорної кислоти, лактацидогену та креатину в м'язнях морщаків та голубів. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928; Biochem. Z., *204*, 1929.
33. *А. Палладін* і *О. Кашпур.* Вплив утомної роботи і тренування на здатність мускульної тканини відновлювати метиленову синьку за Тунбергом. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 3—4.
34. *А. Палладін* і *А. Кудрявцева.* Про вплив отруэння фосфором на вміст креатинфосфорної кислоти, лактацидогену та креатину в білих та червоних м'язнях кроля. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928.
35. *А. Палладін* і *І. П. Охрименко.* Вміст креатину в різних мускулах риб. Біохім. журн., *XII*, 1938, 3.
36. *А. В. Палладін* і *Л. І. Палладіна.* Вплив мускульної роботи на оксидаційні процеси в тваринному организмі. Укр. біохім. журн., *VII*, 1934, 1.
37. *А. В. Палладін* і *Л. І. Палладіна.* Вплив кислого і лужного корму на вміст молочної кислоти в мускулах і на їх синтетичні здатності при роботі і тренуванні. Укр біохім. журн., *IX*, 1936, 4.
38. *А. В. Палладін* і *Л. І. Палладіна.* Вплив різних методів втомлення на вміст молочної кислоти і глікогену в мускулах і на їх синтетичні здатності. Укр. біохім. журн., *X*, 1937, 3.
39. *А. Палладін, Л. Палладіна* і *Е. Персова.* Вплив попереднього тренування на молочну кислоту, що утворюється при втомі. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *V*, 1930, 2; Biochem. Z., 236, 1931, 268.

40. *А. В. Палладін* і *О. Я. Рашба.* Креатин в різних відділах мозку хребетних тварин. Укр. біохім. журн., *VII*, 1933, 51.
41. *А. Палладін* і *О. Рашба.* Вплив тренування та втомливої роботи на каталазу мускулів. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 2; Фізіол. журн., *XXI*, 4, 507.
42. *А. В. Палладін* і *О. Я. Рашба.* Креатин в різних відділах мозку хребетних тварин. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 85.
43. *А. В. Палладін* і *О. Я. Рашба.* Креатин у мозку під час онтогенетичного розвитку хребетних тварин. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 34.
44. *А. В. Палладін* і *О. Я. Рашба.* Аргінін, аргіназа і креатин у тканинах ембріонів хребетних тварин. Укр. біохім. журн., *X*, 1937, 225.
45. *А. В. Палладін, О. Я. Рашба* і *Р. М. Гельман.* Дослідження хімічного складу різних відділів нервової системи, Повідомлення I. Укр. біохім. журн., *VIII*, 1935.
46. *А. В. Палладін* і *О. С. Савронь.* Вплив скорбута на креатин головного мозку Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *II*, 1927, 79.
47. *А. Палладін* і *О. Савронь.* Про вплив тетра-гидро-нафтиламіну на креатинфосфорову кислоту, креатин та лактацидоген білих та червоних м'язнів кроля. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928.
48. *А. Палладін* і *Р. Сігалова.* До біохімії креатинфосфорної кислоти. Вплив денервації. Укр. біохім. журн., *VII*, 1933.
49. *А. В. Палладін* і *Д. С. Фердман.* Вплив скорочення і тренування м'язнів на вміст у них креатину. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *II*. Z. f. physiol. Chem., *174*, 1928, 284; Журн. експ. біол. і мед., 1928, № 29.
50. *Л. І. Палладіна* і *Б. Й. Хайкіна.* Вплив роботи і тренування на молочну кислоту и синтетичну здатність мускулів нормальних і авітамінозних морських свинок. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 3.
51. *О. Я. Рашба.* Деякі дані про вуглеводний обмін в мускулах ембріонів курей Біохім. журн., *XIII*, 1939, 3.
52. *Е. Б. Сквирська.* Гліколітична активність мозку курей рівного віку. Біол. журн. Київськ. ун-ту.
53. *Е. Т. Сорені.* Про вплив тренування на дихальні функції мускульної тканини. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 2.
54. *Е. Т. Сорені* і *О. П. Чепінога.* Про вплив тренування на дихальні функції мускульної тканини. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 3.
55. *Е. Сорені* і *О. Чепінога.* Про дихання і систему дихальних ферментів втомленого мускула. Укр. біохім. журн., *IX*, 1936, 4.
56. *Е. Сорені* і *О. Чепінога.* Про вплив тренування мускулів на реакцію Пастер — Мейергофа. Укр. біохім. журн., *X*, 1937, 4.
57. *Е. Сорені* і *О. Чепінога.* Про HCN-резистентну частину дихання мускулів. Біохім. журн., *IX*, 1938, 3.
58. *О. І. Файншмідт.* Вплив гуанідину на кількість креатину в головному мозку кроликів і голубів. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *II*, 1927, 127.

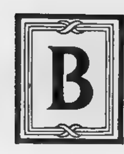
59. *О. І. Файнимідт* і *Д. Л. Фердман.* Хімічні складові частини мозку підчас зимової сплячки. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *VI*, 1933, 75.
60. *Д. Л. Фердман.* До виявлення ролі креатинфосфорової кислоти та методи її визначення. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *III*, 1928; Z. f. physiol. Chem., *178*, 1928, 52
61. *Д. Фердман.* Вплив тривалих скорочень на вміст фосфорових сполук у м'язнях голубів та кроликів. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *IV*, 1930.
62. *Д. Фердман* і *О. Файнимідт.* Вплив тренування м'язня на вміст фосфорових сполук. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *IV*, 1929; Z. f. physiol. Chem., *183*, 1929, 261.
63. *Д. Фердман* і *О. Файнимідт.* Досліди до біохімії зимнього спання тварин. Наук. зап. Укр. біохім. ін-ту, *V*, 1930.
64. *Б. Й. Хайкіна.* До механізму гліколізу в головному мозку тварин на різних етапах онтогенезу. Дія монойодацетатної кислоти на гліколіз і на перетворення фосфорних сполук. Біохім. журн., *XVI*, 1940.
65. *Б. Й. Хайкіна.* До механізму гліколізу в головному мозку тварин на різних етапах онтогенезу. Повідомлення І. Гліколіз і фосфорні сполуки при отруєнні натрій-флуоридом. Біохім. журн., *XVI*, 1940.
66. *Б. І. Хайкіна* і *С. Е. Епельбаум.* Аденілпірофосфатна кислота в мозку на різних стадіях ембріонального і постембріонального розвитку. Біохім. журн., *XIII*, 1939, 261.
67. *Р. Чаговець.* Вплив роботи і тренування на оксидаційний потенціал мускульної тканини. Укр. біохім. журн., *VII*, 1935, 3—4; *IX*, 1936, 3.
68. *О. П. Чепінога.* Дихання мускульної тканини після перерізування n. ischiadicus у кроліка. Біохім. журн., *X*, 1938, 5.
69. *О. П. Чепінога.* Дегідрази мускульної тканини при тренуванні і втомі. Біохім. журн., *XIV*, 1939, 1—2; *XV*, 1940, 1.

Член-корреспондент АН СССР
Х. С. Коштоянц

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЗИМОХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НЕРВНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

«ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НЕРВА, КАК И ВСЯКОГО ДРУГОГО ОРГАНА В ТЕЛЕ, БЕЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ МАТЕРИИ НЕМЫСЛИМА».

И. М. СЕЧЕНОВ, 1866 г.



В классическом научном наследстве великого русского физиолога И. М. Сеченова большое место занимают вопросы материальной основы сложных нервно-психических процессов. В течение ряда десятилетий в своей экспериментальной и теоретической работе И. М. Сеченов углублял и развивал возникшие еще в ранний период его научной деятельности мысли о химической и физико-химической основе физиологических процессов, в частности процессов, происходящих в нервной системе. Он считал, что «в химической неустойчивости протоплазмы лежит вся суть рабочих процессов в теле...», что «к числу резких особенностей животных следует отнести их способность переводить путем тканевой организации инертные вещества пищи в неустойчивые химические сочетания, служащие запасами энергии», что в мышцах и нервах, как при взрыве, «есть налицо следы химического изменения» и что характерной чертой живого являются восстановительные процессы после взрыва, которые требуют постоянного притока питательных веществ. И. М. Сеченов рассматривал нервные узлы как «род питательных центров, т. е. таких механизмов, которые своей деятельностью поддерживают анатомическую, химическую и физиологическую целостность» нервного волокна.

Эти взгляды И. М. Сеченова, представляющие собой органическую часть его общего материалистического мировоззрения, оставили глубокий след в дальнейшем развитии отечественной физиологии. Так, И. П. Павлов в одной из своих статей в 1925 г. писал: «Едва ли можно оспаривать, что настоящую теорию всех нервных явлений даст нам только изучение физико-химического процесса, происходящего в нервной ткани, и фазы которого дадут нам полное объяснение всех внешних проявлений нервной деятельности, их последовательности и связи». Хорошо известно, что И. П. Павлов в анализе природы процессов торможения в коре мозга допускал существование каких-то химических механизмов. Наконец, широко известная теория Павлова о трофическом влиянии нервной системы в своей основе является теорией химической регуляции тканевых процессов со стороны нервной системы.

Под влиянием работ и взглядов И. М. Сеченова физиологи нашей страны развернули большую работу по вскрытию зависимостей, существующих между химическими процессами в нервах, и таких показателей их деятельности, как биоэлектрические токи. Эта работа получила свое блестящее завершение в трудах В. Ю. Чаговца — основоположника физико-химической теории нервного возбуждения, получившей название ионной теории.

В учении В. Ю. Чаговца известная теория электромоторных молекул Дюбуа-Реймонда была заменена теорией концентрационных токов и была дана химическая (биохимическая в современном смысле) трактовка в понимании источника электрических токов в живой ткани. В этом же направлении шли физиологические исследования академика П. П. Лазарева.

Непосредственный ученик И. М. Сеченова — А. Ф. Самойлов на основании своих чрезвычайно тонких исследований первым сформулировал положение о том, что при переходе возбуждения с нерва на мышцу и при переходе возбуждения с центростремительных нервов на центробежные — в клетках (синапсах) спинного мозга происходят процессы химического характера в смысле высвобождения (или, как говорил Самойлов, «микросекреции») химических веществ высокой физиологической активности.

Большая работа по изучению химической, гуморальной основы нервной деятельности была развернута во многих наших физиологических

лабораториях и прежде всего в лабораториях академиков Л. А. Орбели, И. С. Бериташвили, К. М. Быкова и Л. С. Штерн, а также И. П. Разенкова.

В настоящей статье будут приведены результаты выполненных мной и моими сотрудниками работ, которые, как мне представляется, находятся в тесной связи с теми устремлениями отечественных физиологов, на которых мы остановились вкратце, и являются частью большой работы, проведенной советскими физиологами в разрешении одной из актуальных проблем современной физиологии.

В 1930 г. в Утрехтской лаборатории покойного профессора Германа Иордана мне впервые пришлось ближе подойти к экспериментальному анализу вопроса о природе мускульного сокращения. Передо мною стояла задача исследовать значение температуры для хода процессов сокращения и расслабления на гладкой мускулатуре беспозвоночных животных.

Иордан, создатель теории вискозоидного тонуса гладкой мускулатуры беспозвоночных животных, в ту пору находился под влиянием господствующих физико-химических взглядов на природу мышечного сокращения и склонен был придавать большое значение вязко-эластическим свойствам протоплазмы сократительных структур в развертывании физиологического акта сокращения и расслабления. Ему казалось, что исследование физиологических закономерностей под углом зрения подобных физико-химических концепций должно быть особенно близко советскому исследователю.

Однако уже на первых порах моей работы по названной теме в Утрехтской лаборатории для меня стало ясно, что в анализе поставленной задачи о влиянии температуры на динамику процессов растяжения и сокращения гладкой мускулатуры внимание надо направить не только на вязко-эластические свойства сократительных структур, но и на те процессы метаболизма, с которыми связан физиологический акт сокращения и расслабления. Это вытекало не только из сформировавшихся у меня к тому времени методологических концепций о несводимости физиологических процессов к простым физико-химическим отношениям и о том, что важнейшую особенность всякого физиологического явления представляют процессы обмена веществ клетки, но и из полученных мной опытных данных по влиянию высокой температуры на вязко-эластические

свойства мышечных элементов, качественно отличающихся по своей динамике от данных по влиянию температуры на неживые вязко-эластические структуры.

Развивая работы в этом направлении в нашей лаборатории при Тимирязевском научно-исследовательском институте, в совместной работе с В. А. Мужеевым нам удалось показать, что гладкая мускулатура беспозвоночных животных в соответствующих температурных условиях, приближающихся к температуре тела теплокровных животных, может давать кривую сокращения и последующего расслабления, весьма напоминающую кривую сокращения и расслабления скелетной мускулатуры.

Удалось также убедиться в том, что при выключении определенных звеньев метаболизма гладкой мускулатуры, в частности определенных звеньев углеводного распада под влиянием соответствующих разведений монойодуксусной кислоты, гладкая мускулатура уже не подвергается тому деформирующему влиянию высокой температуры и растяжения, которое наблюдается при нормальном метаболизме в этих мышцах (и которое всегда имеет место при действии высокой температуры и растяжения на неживые вязко-эластические субстраты).

Эти опыты, результаты которых были опубликованы в 1932 г., обнаружили большое значение ингибиторов различных звеньев углеводного распада для анализа физиологических явлений, и, как это будет показано ниже, ингибиторы широко были использованы в моих работах и в работах моих сотрудников для анализа сложного вопроса о природе тех процессов, которые происходят в мышечных элементах при их возбуждении со стороны нервных и гуморальных агентов.

Локомоторная мускулатура исследованных мною беспозвоночных животных, именно легочных улиток, находится под постоянным физиологическим контролем соответствующих центральных нервных образований. Уже в работах Иордана намечалась возможность рассматривать регулирующее влияние названных нервных образований на характер кривой растяжения и сокращения гладкой мускулатуры как влияние, осуществляемое через какие-то химические процессы.

В 1926 г. Иордан высказал предположение, что в нервной регуляции деятельности гладкой мускулатуры беспозвоночных животных принимают участие те же химические агенты, что и в гуморальной регуляции

сердца под влиянием веществ, высвобождаемых при раздражении тормозящих и возбуждающих нервов. Таким образом, Иорданом была впервые сделана попытка перенести в область физиологии нервной регуляции беспозвоночных животных то выдающееся обобщение о гуморальном способе влияния нервного возбуждения, которое впервые было формулировано Отто Леви для способа возбуждения и торможения деятельности сердца позвоночных животных.

Как известно, в классической работе Отто Леви, опубликованной в 1922 г., было экспериментально обосновано положение о том, что при возбуждении двух антагонистически действующих нервов, регулирующих деятельность сердца, высвобождаются вещества, которые сами по себе могут вызвать эффект действия раздражаемых нервов. Этим самым была открыта новая страница в истории физиологии, показавшая огромное значение химических механизмов возбуждения и торможения протоплазмы. Эта плодотворная научная идея в той или другой форме высказывалась многими выдающимися исследователями — предшественниками Отто Леви. Было бы правильно считать основоположником этого научного направления великого биолога Чарльза Дарвина.

В своей классической работе «Способность к движению у растений» (1881) Дарвин установил факт распространения возбуждения, возникающего при одностороннем освещении колеоптилей злаков, эпикотелей вики и гипокотелей капусты. Дарвин при этом высказал чрезвычайно плодотворную для общей физиологии гипотезу об образовании в месте возбуждения (чувствительной верхушке) особого, химически активного вещества, которое, распространяясь вдоль органа, является передатчиком возбуждения, вызванного раздражением светом.

Таким образом, Дарвин не только открыл и описал совершенно новое для фитофизиологии своего времени явление распространения возбуждения в тканях растений, но и сформулировал идею о химической природе процессов возникновения и распространения возбуждения, идею, которая имеет значение не только для физиологии растений, но и для всей сравнительной физиологии.

Все более и более развивающаяся современная химическая теория процессов нервного возбуждения, которая основывается на фактах участия в процессе возникновения и распространения возбуждения особых, химически активных веществ, как нам представляется, идейными

корнями связана с учением Дарвина об участии особых веществ в распространении возбуждения в растении и имеет более широкое общебиологическое значение.

Такой подход к историко-логическому пониманию современной химической теории нервного возбуждения позволил нам еще в 1939 г. на одной из павловских сессий, посвященных физиологическим вопросам, высказать предположение о том, что химический характер регуляции нервного возбуждения является частным случаем более широко распространенных явлений, наблюдаемых при различных формах возбуждения протоплазмы.

Высказывая это предположение, мы исходили прежде всего из существующих экспериментальных данных, указывающих на то, что и в ряде других случаев возбуждения клетки происходит синтез особых, физиологически активных веществ, имеющих биологическое значение для дальнейшей жизнедеятельности раздражаемой клетки.

Наиболее демонстративным примером этого служит возбуждение яйцеклетки во время ее оплодотворения, при котором, как показали многочисленные исследования, происходит не только скачкообразное изменение интенсивности дыхательных процессов (известные опыты Варбурга), но и скачкообразное усиление и выделение специфических активаторов дробления клетки.

Анализируя химическую природу нервного возбуждения в этом общебиологическом ее значении, в 1938 г. мы предприняли ряд исследований по изучению синтетических процессов, являющихся следствием процесса возбуждения клетки при оплодотворении, и по определению ауксиноподобных (ростовых) веществ в икре оплодотворенных и неоплодотворенных амфибий.

Эти исследования показали, что, в то время как в неоплодотворенной икре не находятся вовсе (или имеются в связанном состоянии) ауксиноподобные вещества, после оплодотворения в икре эти вещества скачкообразно появляются (стимулируется синтез), и количество их в последующих стадиях нарастает все более и более.

Мы позволили себе на основании этих опытов говорить о «возбуждении оплодотворения» как особой форме возбуждения протоплазмы.

Исследуя (с 1933 г.) закономерности нервного возбуждения и акта мускульного сокращения в сравнительно-физиологическом аспекте, мы

вместе с сотрудниками имели возможность убедиться в том, что химические агенты, появляющиеся при возбуждении вегетативной нервной системы позвоночных животных, именно ацетилхолиноподобные вещества, возникающие при возбуждении парасимпатической нервной системы, и адреналиноподобные вещества — при раздражении симпатической нервной системы, имеют широкое распространение среди беспозвоночных животных.

Подглоточный узел моллюсков, который регулирует процессы растяжения и тонического сокращения локомоторной мускулатуры беспозвоночных, как это было показано нами на виноградной улитке, содержит большое количество ацетилхолиноподобных веществ. Одновременно, как показали наши опыты, гемолимфа как виноградной улитки, так и анадонты содержит значительное количество фермента холинэстеразы, который является естественным спутником ацетилхолиноподобных веществ и способствует их разрушению по мере их образования и высвобождения.

Наши сравнительные исследования велись в тот период, когда остро дебатировался вопрос о специфичности синтеза ацетилхолиноподобных веществ и фермента холинэстеразы для физиологии нервной ткани. В целях получения соответствующего объективного ответа на этот вопрос, нами были предприняты систематические сравнительные опыты, причем мы поставили перед собой задачу исследовать наличие этих веществ, их количественные вариации у различных животных форм в зависимости от развития у них нервной системы.

На этих путях возможно было исследование как методами эмбрионального анализа, так и собственно сравнительно-физиологического. Наш сотрудник Н. М. Артемьев, изучая содержание холинэстеразы и ацетилхолина с точным учетом стадии развития икры лягушки по Гаррисону, сумел установить, что развивающаяся икра лягушки, начиная со стадии 16 бластомеров и до стадии поздней хвостовой почки, лишена холинэстеразы. Следовательно, у эмбриона лягушки в донервный период развития и во время дифференцировки нервных элементов холинэстераза не образуется. Впервые холинэстераза появляется у эмбриона на стадии поздней хвостовой почки за несколько часов до первого движения эмбриона, заключающегося в медленном сгибании головного конца.

Следовательно, образование холинэстеразы в теле эмбриона лягушки совпадает с началом функционирования нервной системы, или, точнее сказать, появление холинэстеразы несколько предшествует первому движению эмбриона и совпадает с процессом дифференцировки моторной части нервной системы. Начиная с этой стадии и до стадии свободного плавания количество холинэстеразы резко возрастает. Эти экспериментальные данные нашей лаборатории, опубликованные Н. М. Артемьевым в 1941 г., в последующем были подтверждены целым рядом зарубежных исследователей.

В том, что синтез ацетилхолиноподобных веществ и ферментативная активность холинэстеразы имеют прямое отношение к функции нервной системы, мы могли убедиться также на сравнительных исследованиях содержания ацетилхолина и холинэстеразы у различных животных, имеющих разную степень развития нервной системы. Под этим углом зрения нам, конечно, особенно были интересны те случаи, когда имела место филогенетическая редукция нервной системы.

Опыты, проведенные на Севастопольской биологической станции нашими сотрудниками Н. М. Артемьевым и Р. Л. Митрополитанской, отчетливо показали, что у некоторых паразитических ракообразных животных активность холинэстеразы во много раз ниже по сравнению с активностью холинэстеразы у систематически близких форм свободно живущих ракообразных.

Показано было также, что гемолимфа пластинчатожаберного моллюска *Pecten ponticus*, способного делать быстрые скачки в воде в результате мгновенного захлопывания створок своей раковины, содержит в 10 раз больше холинэстеразы, чем гемолимфа других пластинчатожаберных, ведущих прикрепленный образ жизни и неспособных к быстрым движениям, например *Oestrea taurica* или *Mytilus galloprovincialis*.

Результаты работ моего ассистента на кафедре физиологии Московского университета В. А. Шидловского по вопросу о влиянии ацетилхолина на сердце животных в разной стадии эмбрионального развития приводят к еще одному важному выводу, сводящемуся к тому, что по мере формирования связи между нервной системой и иннервируемой тканью складываются новые биохимические отношения, имеющие прямое касательство к чувствительности протоплазмы иннервируемого органа к этим ацетилхолиноподобным веществам.

В. А. Шидловский показал, что на ранних стадиях развития сердца самые разнообразные дозы ацетилхолина совершенно не вызывают никакого эффекта со стороны сердечной ткани и что эта ткань приобретает способность реагировать на ацетилхолин после установления контакта между блуждающим нервом и сердцем, т. е. с момента иннервации последнего.

Особенно большое значение для дальнейшего развития наших работ имели наши наблюдения над безнервными организмами. Совместно с нашей сотрудницей Р. Л. Митрополитанской мы подробно исследовали содержание ацетилхолина в клетках ряда свободно живущих и паразитических инфузорий, а также таких примитивных многоклеточных организмов, как гидра. Наши опыты привели к выводу о том, что в экстрактах, полученных из этих безнервных организмов, отсутствуют ацетилхолиноподобные вещества. Результаты этих опытов были нами опубликованы в 1939 г.

Решающим экспериментом, толкнувшим нас на путь тонких энзимохимических исследований природы нервного возбуждения, был следующий. Как мы указали выше, экстракты, полученные из инфузорий (кстати, вопреки мнению германских исследователей Баура и Вензе, допустивших в своих опытах методическую ошибку, вскрытую нами), не содержали ацетилхолиноподобных веществ. Исходя из того, что в этих клетках существует холин — субстрат, необходимый для синтеза ацетилхолина, мы поставили простые опыты ацетилирования экстрактов инфузорий и, испытав эти экстракты на биологических тест-объектах для определения ацетилхолиноподобного действия, получили соответствующий положительный эффект: экстракты вызывали типичный ацетилхолиноподобный эффект, снимаемый холинэстеразой.

Эти опыты впервые натолкнули нас на мысль о том, что и в нормальном процессе синтеза ацетилхолиноподобных веществ в клетках происходят сопряженные синтетические процессы между продуктом фосфатидного обмена — холином и продуктом углеводного обмена, могущим ацетилировать холин. Было ясно, что образование подобных ацетилирующих агентов в цикле превращения углеводов может итти через стадию образования пировиноградной кислоты. Эти опыты и теоретические соображения привели нас в 1938 г. к необходимости постановки важного для наших дальнейших работ эксперимента с возможностью блокировать передачу нервного возбуждения путем блокирования углеводного распада

на фазе образования пировиноградной кислоты, т. е. на той фазе, когда могут образоваться ацетилирующие агенты.

После пятилетнего перерыва в наших работах с применением ингибитора углеводного распада к решению физиологического вопроса об участии хемодинамических процессов в функциональной активности мускульных клеток, мы вновь применили новый ингибитор для анализа вопроса о природе процесса перехода возбуждения с нерва на мышцу.

В качестве ингибитора в первый период нашей работы мы избрали фтористый натр. Мы исходили при этом из соответствующих биохимических данных, давших возможность биохимикам говорить о «флюоридном блоке» углеводного обмена на фазе образования пировиноградной кислоты. Фтористый натр должен был, по нашим представлениям, блокировать углеводный распад на фазе образования веществ, могущих ацетилировать холин; таким образом, мы имели перед собой задачу блокировать синтез ацетилхолиноподобных веществ.

Опыты, проведенные как на сердечной мышце лягушки с раздражением блуждающего нерва, так и на скелетной мускулатуре с раздражением соматических нервов, отчетливо показали нам, что «флюоридный блок» углеводного распада совпадает с «флюоридным блоком» нервного возбуждения. Эти эксперименты, результаты которых были опубликованы впервые в 1938 г., позволили нам, одновременно и независимо от кэмбриджских биохимиков Квостела и Мана, представить схему биологического синтеза ацетилхолина в сопряженных отношениях между обменом фосфатидов и углеводным обменом.

Наша сотрудница А. М. Рябиновская испытала в дальнейшем действие ряда других ингибиторов углеводного распада, а именно малеиновокислого натра, глютаминовой кислоты, глицеральдегида, на характер возбуждения скелетной мышцы под влиянием нервного раздражения [1939 г.].

Эти опыты отчетливо показали, что при торможении соответствующих ферментативных процессов, имеющих отношение к нормальному ходу углеводного распада, при условиях сохранения или количественного изменения ответа мышцы на прямое раздражение, полностью или частично выпадает эффект действия на мышцу непрямого раздражения, т. е. раздражения со стороны нервов.

На основании данных, полученных нами в самое последнее время, о роли сульфгидрильных групп в осуществлении влияния ацетилхолина

и холинэргических нервов (на которых мы остановимся несколько ниже) особенно интересны результаты, полученные А. М. Рябиновской по действию малеиновокислого натра. Последний, как известно, оказывает тормозящее действие на ход определенных метаболических процессов, главным образом путем связывания сульфгидрильных групп.

В этой фазе работы, получив достоверные данные об огромном значении нормального состояния метаболизма углеводов для действия раздражаемых нервов на мышечную активность, очевидно в связи с воздействием на нормальный баланс образования и разрушения ацетилхолиноподобных веществ, мы, естественно, должны были обратить внимание на возможность толкования симптомов полиневрита при авитаминозе B_1 на основании химической теории нервного возбуждения. Мы исходили при этом из тех биохимических данных, которые прямо указывают на то, что при отсутствии витамина B_1 наступает резкая задержка дальнейшего окисления образовавшейся пировиноградной кислоты, а это должно было естественно влиять и на синтез ацетилхолиноподобных веществ, столь необходимых для нормального осуществления нервного влияния. Мы при этом отдавали себе отчет в том, что не случайно при авитаминозе B_1 важнейшим симптомом является нарушение нервной рефлекторной координации.

Наши опыты, опубликованные в 1939 г. и впоследствии подтвержденные рядом советских исследователей, отчетливо показали нарушение синтеза и разрушения ацетилхолина при авитаминозе B_1.

Развивая свои работы дальше в этом направлении, мы в последнее время получили целый ряд новых возможностей выключения влияния холинэргических нервов на ткани или извращения их действия путем тонких воздействий на химическую динамику клетки.

Так, оказалось, что эффект действия блуждающего нерва на сердце снимается при действии таких концентраций метиленовой синьки, которые не нарушают ни нормального ритма, ни амплитуды сердечных сокращений (опыты нашей сотрудницы И. А. Кедер-Степановой).

Действие блуждающего нерва на сердечную мышцу блокируется также определенными разведениями витамина B_1 (опыт сотрудницы Н. Ястребцевой). Те же разведения витамина B_1 заметно снижают чувствительность к ацетилхолину скелетных мышц лягушки (опыт И. Книпст).

Применение подобных веществ, механизм влияния которых на хемодинамику клетки значительно более ясен, чем действие применявшихся ранее, названных нами ингибиторов (а также широко применяющихся разными исследователями парализаторов холинэстеразы, каковыми являются эзерин и простигмин), несомненно оказывающих добавочное действие на протоплазму клетки, конечно может иметь большие перспективы как в отношении тонкого анализа физиологических механизмов, так и возможного терапевтического воздействия.

Опыты с выключением действия блуждающего нерва на сердце под влиянием доз метиленовой синьки, сохраняющих нормальный ритм и амплитуду сердца, позволили нам поставить вопрос, имеющий существенное значение для обоснования химической теории нервного возбуждения, а именно: нельзя ли выключить торможение сердечной деятельности со стороны блуждающего нерва, имеющее рефлекторный характер? Подобного рода вопрос был для нас тем более важным, что всегда могло возникнуть возражение, что тот или другой химический агент может блокировать передачу нервного возбуждения, если последнее возникает под влиянием неадэкватного электрического раздражения нерва в изолированных условиях.

Это возражение имеет тем большее значение, что многие противники химической теории нервного возбуждения постоянно указывают на то, что в физиологических условиях нервный импульс, повидимому, может осуществлять свое влияние, минуя химические пути, главным образом на основе электрических явлений.

Опыты, проведенные нами совместно с нашей сотрудницей С. Мограз и опубликованные в «Докладах АН СССР» в 1945 г., отчетливо показали, что рефлекторное торможение сердца, наступающее в условиях классического опыта Гольца на целом животном, может быть полностью выключено при действии на сердце применяемых нами разведений метиленовой синьки, причем через некоторое время сердце снова приобретает способность реагировать на рефлекторное раздражение блуждающего нерва типичной остановкой.

При рассмотрении работ последнего времени, вплотную приблизивших нас к пониманию химического механизма действия нервного возбуждения, а также действия тех веществ, которые образуются при нервном возбуждении, например ацетилхолина, мы несколько подробнее остано-

вимся на результатах наших опытов, показавших значение сульфгидрильных групп в этих процессах.

Как это видно из всего изложенного, все наши предыдущие эксперименты логически приводили нас к необходимости признания участия ферментативной активности клеток в регуляции нервного возбуждения. Во всяком случае, в этих процессах, поскольку участие ацетилхолина в них трудно отрицать, повидимому, большую роль должны играть ферменты, принимающие участие в цикле превращения пировиноградной кислоты, ведущей к образованию ацетилирующего агента, а также ферментативной активности холинэстеразы, отношения которой к ацетилхолину имеют решающее значение для исхода реакции клетки на ацетилхолин как физиологически активное вещество.

Как показывают новые исследования целого ряда биохимиков, в частности Баррона (Barron) и его сотрудников, огромное количество ферментов, и в особенности ферменты, принимающие участие в цикле превращения пировиноградной кислоты, а также фермент холинэстераза (по данным Нахмансона) для своей активности нуждаются в наличии сульфгидрильных групп в белковой компоненте их молекулы.

Экспериментально доказано, что связывание сульфгидрильных групп ведет к инактивации этих ферментов, а вещества, содержащие сульфгидрильные группы (глютатион, цистеин и др.), могут их вновь реактивировать. К этому надо добавить, что сульфгидрильные группы играют, повидимому, немаловажную роль в структуре самого сократительного субстрата — белка миозина, и, наконец, от наличия сульфгидрильных групп в значительной степени зависит активность важнейшего для хемодинамики мышечного сокращения фермента — аденозинтрифосфатазы.

Исходя из всех этих данных, а также из данных, показавших большое значение сульфгидрильных групп при таких процессах химического возбуждения клеток, каковыми являются оплодотворение и дробление, а также исходя из развиваемой мной посылки, что нервное возбуждение и возбуждение, вызываемое химическими веществами, высвобождающимися при нервном возбуждении, осуществляются через соответствующие ферментные системы, я поставил перед собой задачу вскрыть особенности действия раздражаемых нервов и ацетилхолина на соответствующих органах в условиях связывания и последующего внесения в ткани сульфгидрильных групп.

Эти опыты, проведенные мной совместно с Т. М. Турпаевым, привели к чрезвычайно ясным результатам. Оказалось, что сердце лягушки, нормально реагирующее на соответствующие дозы ацетилхолина полной остановкой, уже больше не реагирует этой остановкой на те же дозы ацетилхолина, если оно предварительно было обработано раствором сулемы в таких разведениях, которые совместимы с нормальными ритмом и высотой сокращения сердца. Выбор сулемы был нам продиктован способностью этого вещества связываться с сульфгидрильными группами.

В этом опыте убедительна та часть его, которая показала, что сердце, потерявшее способность реагировать на ацетилхолин после действия сулемы, очевидно в связи со связыванием сульфгидрильных групп, вновь приобретает эту способность, после того как оно перфузируется раствором цистеина как источника сульфгидрильных групп.

Этот опыт ясно показывает, что эффект действия ацетилхолина и раздражения блуждающего нерва на сердце интимно связан с такой важной компонентой химической динамики клетки, каковыми являются сульфгидрильные группы.

Наши эксперименты самого последнего времени показали, что эффект действия ацетилхолина на сердце может быть вызван S—S формой глютатиона, повидимому, потому, что эта форма глютатиона нормальным физиологическим путем ведет к инактивации соответствующих ферментов, активность которых зависит от сульфгидрильных групп.

Трудно в настоящее время в отчетливой форме представить себе тонкий механизм этих химических взаимодействий между ацетилхолином и ацетилхолиноподобными веществами, образующимися при нервном возбуждении, с сульфгидрильными группами белковых тел и в первую очередь ферментов, принимающих участие в хемодинамике клетки, однако опыты с очевидностью указывают на определенную связь в этом направлении.

Эти опыты не только намечают пути к пониманию тонкого химического механизма влияния ацетилхолина и холинэргических нервов на клетку, но и сближают процессы возбуждения протоплазмы под влиянием нейрогуморов с явлениями общебиологического порядка. Работы многочисленных исследователей последнего времени в самых разнообразных областях на различных объектах с большой убедительностью показали,

что в таких явлениях, как оплодотворение, дробление и дифференцировка, сопровождающихся определенными явлениями денатурации белка, немалую роль играют сульфгидрильные группы.

Все перечисленные факты неминуемо приводили нас к формулированию положения об энзимохимической природе нервного возбуждения. К этому же выводу мы пришли также на основании наших опытов, показавших невозможность осуществления действия на мышцу ацетилхолина, кальций которого был связан оксалатом, и восстановления действия ацетилхолина после перенесения мышцы в раствор, содержащий ионы кальция. Опыты были начаты и закончены в 1942 г. в г. Фрунзе в период эвакуации.

Эти опыты привели нас к выводу о роли ионов кальция в качестве промежуточного фактора между медиатором нервного возбуждения и тем химическим циклом, который в случае мышцы лежит в основе ее функциональной активности, т. е. адениловым циклом. Тогда было высказано нами предположение, что нервное возбуждение и возбуждение ацетилхолином должно приводить в решающем звене к выделению в свободном состоянии ионов кальция из соответствующих соединений, в которых кальций находится в связанном состоянии, и что для случая мышцы кальций играет такую роль благодаря ее активирующему влиянию на аденозинтрифосфатазу.

В том же 1942 г. кэмбриджский биохимик Бейли (Bailey), на основании своих биохимических опытов, доказавших особенно высокое активирующее действие ионов кальция на аденозинтрифосфатазу, пришел к выводу, что основным условием возбуждения мышцы является освобождение ионов кальция в непосредственной близости к аденозинтрифосфорным группам миозина, вследствие чего происходит активирование основного каталитического процесса, необходимого для реализации акта мышечного сокращения.

Уже на этой стадии работы мы пришли к выводу, что должны существовать энзимохимические посредники для осуществления влияния на клетки химических передатчиков нервного возбуждения. Мы остановили наше внимание на аденозинтрифосфорной кислоте и ионах-активаторах и ингибиторах аденозинтрифосфатазы.

Целый ряд экспериментов, предпринятых нами в 1943 г., показал способность аденозинтрифосфорной кислоты вызывать усиления сокра-

тительной функции сердечной мускулатуры и ее тормозящее влияние на нервные центры.

Вместе с нашими сотрудниками И. А. Кедер-Степановой и В. А. Шидловским мы провели специальные микрофизиологические наблюдения над действием раздражения блуждающего и симпатического нервов на препарат растянутого сердца лягушки, приготовленный по методу Граменицкого. Используя такой чуткий микрохимический тест на минимальное количество ионов кальция, каковым является ализарин, мы имели возможность установить выпадение хлопьев ализарата кальция в ответ на раздражение нервов.

И. А. Кедер-Степанова в нашей лаборатории сделала интересное наблюдение, говорящее о том, что межклеточный цемент клеток эндотелиального происхождения сердца лягушки является источником выделяющегося кальция. То, что ионы кальция черпаются из этих элементов микроструктуры названных клеток, подтверждается обнаружением на препарате растянутого сердца прокрашиваемых структур только после нервного раздражения. На препарате, обработанном ализарином (связывание кальция), довольно скоро выпадает эффект действия симпатического нерва.

На основании собственных экспериментальных данных в нашем сообщении в «Докладах АН СССР» в 1944 г. мы указывали, что в динамике процессов возбуждения, возможно, играет роль фаза гидролиза ацетилхолина, сопровождаемая высвобождением уксусной кислоты. Последняя, высвобождая из белковых или липоидных соединений кальций, магний или калий и переводя их в ионизированное состояние, тем самым создает условия для направления основного энергетического процесса — распада аденозинтрифосфорной кислоты, либо активируя, либо угнетая ферментативные процессы, связанные с распадом и ресинтезом аденозинфосфорных соединений через активирующие или угнетающие ионы кальция, магния и калия. Мы получили также данные, говорящие о том, что фаза гидролиза ацетилхолина играет существенную роль в реакциях фосфорилирования и дефосфорилирования, столь важных в фазе расслабления после сокращения мышцы.

В разработанной нами схеме энзимохимических связей ацетилхолина, между циклом ацетилхолиновой реакции (включающей в себя фазу образования этого вещества, его протеидизацию, т. е. образование ацетил-

холинпротеида, фазу освобождения свободного ацетилхолина из ацетилхолинпротеида и, наконец, гидролиза этого вещества) и циклом превращения адениловой системы включено промежуточное звено ионогенных факторов. Такими ионогенными факторами являются органические соединения (протеидной или липоидной природы), содержащие в связанном состоянии ионы кальция, магния и калия. Ацетилхолин, высвобождающийся при нервном возбуждении каким-то еще не известным путем (возможно также путем стимулирования протеолиза), способствует высвобождению из названных соединений свободных ионов кальция, магния и калия, которые и содействуют в дальнейшем пуску тех основных энзимохимических реакций, которые лежат в основе обратимых структурных изменений сократительного вещества мышцы — миозина.

Наши опыты еще не дают окончательного ответа на вопрос о том, какова роль тех или других ионов в сложных актах, которые наступают при возбуждении протоплазмы, рассматриваемой нами как определенная форма энзимохимических превращений. В наших представлениях переход от состояния покоя к состоянию возбуждения протоплазмы характеризуется тем, что при возбуждении происходит высвобождение из ацетилхолинпротеида свободного ацетилхолина (в частности, при участии ионов калия, избыточно освобождающихся из связанного состояния при возбуждении), а затем ацетилхолин входит во взаимоотношения с адениловой системой при участии промежуточной фазы, каковой является фаза, содержащая ионогенные факторы.

Анализируя весьма специфический вопрос о роли ионов калия и кальция в сократительном акте, мы имели возможность убедиться в том, что хорошо известный случай сокращения поперечнополосатой мышцы в ответ на действие калия может быть выключен предварительным связыванием ионов кальция.

Эти опыты, опубликованные нами в 1946 г., как будто бы указывают на то, что и ионы калия, так же как ацетилхолин и нервное раздражение, могут вызвать сократительный акт только в том случае, когда мышца располагает ионами кальция.

О большом физиологическом значении ионогенных факторов говорит то обстоятельство, что при нарушении нормальных условий ионной среды скелетной мускулатуры последняя, в норме не обладающая ритмическими сокращениями, приобретает их при условии смещения ионного

равновесия помещением этой мускулатуры в соответствующий искусственный солевой раствор.

Впервые на возможность вызывания ритмических сокращений скелетной мускулатуры указал Бидерман (Biedermann), помещая мышцу кураризованной лягушки в раствор солей натрия. В дальнейшем Леб (J. Loeb) указал, что для развития ритмической активности изолированной скелетной мышцы необходимо, чтобы в растворе преобладали одновалентные возбуждающие ионы натрия и калия над двухвалентными угнетающими ионами кальция и магния. Всякая ритмическая деятельность, по его мнению, зависит от преобладающего действия одновалентных ионов. Именно из этих наблюдений Леб сделал свое широко известное эволюционное обобщение относительно функции мышцы, когда он писал, что «кальциевым и магниевым солям в нашей крови обязаны мы тем, что наши мышцы не сокращаются постоянно, как наше сердце».

Эта интересная проблема привлекла в свое время внимание выдающегося советского физиолога Самойлова, который в 1907 г. опубликовал свои чрезвычайно интересные работы в этом направлении.

Развитие современных представлений о возбуждении как об энзимохимическом процессе заставило нас снова вернуться к ритмической активности мышцы с целью изучения на ней действия веществ, участвующих в передаче возбуждения в нервномышечных синапсах.

Наши опыты совместно с Г. Д. Смирновым и К. А. Ларичевой показали не только то, что в солевом растворе, вызывающем определенное смещение в ионной среде мышечных клеток (как внутри-, так и внеклеточной), скелетная мускулатура начинает давать ритмические сокращения, но и то, что на подобной ритмически сокращающейся скелетной мышце при даче ацетилхолина можно получить тот типичный эффект остановки ритмики, который наблюдается в отношении ритмики сердечной мускулатуры. В нормальных условиях, как известно, скелетная мускулатура в ответ на действие ацетилхолина дает сократительный акт.

В связи с этими опытами интересно отметить, что в 1936 г. в лаборатории академика Л. А. Орбели Р. Барсегян показала, что адреналин в большинстве случаев вызывает ускорение ритма и усиление сокращения скелетной мышцы, помещенной в раствор Бидермана.

Раздражение можно характеризовать, таким образом, как процесс, вызывающий прежде всего изменение условий среды в раздражаемой протоплазме. В состоянии покоя вся система микроскопических и субмикроскопических структур протоплазмы, ее энзимов и коэнзимов находится в определенных условиях среды, причем константы этой среды являются оптимальными как для действия энзимов, принимающих участие в химической динамике протоплазмы в фазе покоя, так и для поддержания соответствующего этой фазе структурного состояния протоплазмы.

Возбуждение, наступающее вследствие раздражения, представляет собой переход протоплазмы в новое состояние, характеризующееся особенностями структурного состояния протоплазмы и ее химической динамики. Подобный переход может наступить только вследствие изменения соответствующих условий среды в клетке, между которыми ведущую роль, повидимому, играют реакции этой среды и соотношение ионов.

Таким образом, мы приходим к выводу об энзимохимической природе процессов нервного возбуждения. Основным в этом выводе является утверждение, что вещества, высвобождающиеся в цикле химических превращений процесса возбуждения (так называемые «медиаторы нервного возбуждения»), либо сами, либо освобождаемые при их участии ионные факторы играют роль активаторов тех энзимохимических процессов, которые являются основными для функциональной активности данной клетки.

Как мы видели в приведенном выше примере, цикл ацетилхолиновой реакции в решающем звене передачи возбуждения с нерва на мышцу приводит к активированию аденозинтрифосфатазы — процессу, имеющему ведущее значение в механо-химии мускульной деятельности, как это вытекает из блестящих работ В. А. Энгельгардта и М. Н. Любимовой. Иными словами, мы приходим к выводу о своеобразном коэнзимном значении химических факторов нервного возбуждения.

Повидимому, этот процесс имеет более широкое распространение в целом ряде других форм возбуждения протоплазмы. Укажем, например, что видный болгарский ученый А. Злотаров, на основе своих экспериментальных работ о механизме стимулирующего влияния химических агентов на прорастание семян, пришел к выводу о коэнзимном характере этих химических стимуляторов по отношению к тем ферментам, актив-

ность которых лежит в основе процессов, сопровождающих стимуляцию прорастания семян.

Приводимая нами схема энзимохимических отношений при осуществлении влияния ацетилхолина и холинэргических нервов является лишь приближением к истинным отношениям, которые существуют в организме, так как наши сведения в области физиологической химии покоя и возбуждения еще крайне скудны. Вместе с тем эта схема в своих химических деталях является весьма специализированной для возбуждения протоплазмы через ацетилхолин и холинэргические нервы.

Другие химические агенты, которые могут считаться передатчиками нервного возбуждения, как, например (из известных нам) адреналиноподобные вещества (симпатин) и гистамин, оказывают, повидимому, свое действие, включаясь в цепь других энзимохимических процессов, специализированных для возбуждения протоплазмы как под влиянием этих химических агентов, так и соответствующих нервов (адренэргических, гистаминэргических).

Опыты, предпринятые нами в последнее время, показывают, например, что действие симпатического раздражения и адреналина на сердечную мышцу, повидимому, связано с активностью фермента фосфорилазы. Во всяком случае мы сумели получить довольно убедительные данные, что при инактивировании фермента фосфорилазы, под влиянием глюкозы, эффект действия раздражения чистого симпатического нерва и адреналина на сердце выпадает с последующим восстановлением этого действия после отмывки глюкозы. При определенных условиях опыта можно получить также выпадение эффекта действия адреналина на сердце инактивированием фосфорилазы под влиянием флоридзина; симпатический эффект этим ингибитором фосфорилазы мы выключить не могли.

Наши энзимохимические представления позволили нам подойти также и к вопросу о динамике процессов, разыгрывающихся под действием адреналина и симпатического раздражения параллельно с теми превращениями, которые претерпевают адреналин и адреналиноподобные вещества, образующиеся при симпатическом раздражении.

Известно, что адреналин и адреналиноподобные вещества, вовлекаясь в цикл окислительно-восстановительных процессов клетки, в фазовом порядке переходят от стадии фармакологически неактивного вещества

(адренахром) к стадии вещества, действующего с обратным фармакологическим знаком (адреноксин Бака).

Естественно предположить, что динамика фармакологического действия адреналиноподобных веществ находится в связи с этими биохимическими превращениями их. Исходя из этих представлений, было весьма интересно оказать воздействие на адреналиноподобные вещества в направлении задержки их трансформации, т. е. стабилизации. В качестве стабилизирующего агента в наших опытах, предпринятых еще в 1939—1940 гг., мы использовали аскорбиновую кислоту, которая является естественным стабилизатором адреналина и адреналиноподобных веществ. Включившись в годы войны в теоретическую разработку механизма шоковых состояний, занимающих такое важное место в проблемах военной медицины, мы смогли убедиться в том, что эффект действия адреналина и симпатического раздражения надолго может быть стабилизирован введением аскорбиновой кислоты, а также фенамина.

В этом же направлении нами были предприняты опыты для выявления влияния ингибиторов моноаминооксидазы на исход адреналово-симпатического возбуждения. Биохимическими исследованиями было доказано, что адреналин, так же как и близкие ему вещества — симпатол и эпинин, окисляется в тканях под влиянием моноаминооксидазы.

Как показали опыты нашей сотрудницы Т. Путинцевой, сократительный эффект на гладкой мускулатуре кишечника, вызываемый гистамином и ацетилхолином, повидимому, осуществляется через различные энзимохимические механизмы. Об этом говорит также известный нам из литературы факт, что при помещении на несколько дней гладкой мышцы кишки млекопитающего животного в рефрижератор происходит выпадение сократительного ответа на действие ацетилхолина, в то время как сократительный акт в ответ на действие гистамина еще сохраняется. Однако в настоящее время мы не располагаем еще достаточными фактами для того, чтобы установить те механизмы, с помощью которых вызывается сократительный акт гладкой мышцы кишечника в ответ на действие гистамина, в отличие от того же эффекта, вызываемого действием ацетилхолина. Интересно, что предварительное действие на гладкую мускулатуру кишечника ацетилхолином снимает действие гистамина; это говорит о каких-то конкурентных влияниях названных веществ на энзимохимический механизм сократительного акта. Если предвари-

тельно обработать мускулатуру кишечника атропином, т. е. выключить возможность действия ацетилхолина, то гистамин вызывает сократительный акт, несмотря на предшествующее действие ацетилхолина. Конкурентные отношения мы наблюдали также между адреналином и симпатическим раздражением: последнее на сердце лягушки перестает давать эффект, если предварительно подвергнуть сердце действию адреналина.

В свете всего изложенного особенно большое значение приобретает изучение всей химической системы, связанной с образованием и разрушением веществ, имеющих отношение к нервному процессу. Нами подробно исследована на различных нервах и в различных условиях их раздражения система: *гистидиндекарбоксилаза — гистамин — гистаминаза*. Эти исследования показали, что раздражение различной интенсивности приводит не только к сдвигам количества гистамина в нервах, но и к сдвигам активности сопутствующих ферментов, т. е. гистидиндекарбоксилазы и гистаминазы в них.

Первоначально мы встретились с этим фактом, анализируя содержание гистамина и активность названных ферментов при различных способах обездвижения животных перед опытом взятия у них раздельно задних и передних корешков. Опыты эти показали, что если производится удар в голову животного, то в задних корешках, в которых в норме содержится большее количество гистамина, чем в передних, исчезает весь гистамин (описанный нами «эффект опустошения»), в то время как в задних корешках животных, которые были перед операцией подвергнуты действию большого количества эфира, наличие гистамина не подвергается заметным изменениям. В этих же опытах было показано, что в определенном направлении по-разному изменяется активность гистидиндекарбоксилазы и гистаминазы.

Подобные же результаты были получены на изолированных нервных корешках при раздражении их электрическим током различной интенсивности. Сильное раздражение их, как правило, всегда приводило к полному исчезновению в них гистамина с одновременным активированием гистидиндекарбоксилазы и инактивированием гистаминазы; иная картина наблюдалась при раздражениях слабой интенсивности. Мы, таким образом, убедились в том, что раздражение нервов сопровождается изменением активности определенных ферментов в нерве.

Эти и другие — собственные, а также литературные данные дают

основание полагать, что под химической компонентой нервного возбуждения следует понимать не отдельные вещества, получившие название медиаторов, а энзимохимическую систему, лежащую в основе как образования, связывания, выделения в свободной форме и разрушения медиаторов, так и включения их в цепь тех энзимохимических процессов возбуждаемой клетки, которые лежат в свою очередь в основе функциональной активности этой клетки (например, ацетилхолиновый и адениловый циклы при возбуждении мышцы).

В связи с упомянутыми выше работами по выяснению физиологических основ шоковых состояний, мы подробно исследовали содержание гистамина в спинномозговых задних и передних корешках. Это сравнительное исследование гистамина, а также ацетилхолина в задних и передних корешках показало нам, что между названными нервными образованиями имеется существенная разница по наличию в них гистамина и ацетилхолина. Гистамин, как правило, в больших количествах существует в задних корешках, а в передних доминирует ацетилхолин.

Эти исследования, согласующиеся с многочисленными литературными данными в отношении содержания ацетилхолина в различных нервных образованиях, привели нас к выводу эволюционного порядка о химической гетерогенности различных элементов нервной системы по признаку доминирования в них того или иного химического передатчика и сопутствующих ему энзимов.

Данные в отношении химизма передних и задних корешков дают нам право рассматривать с биохимической стороны анатомо-физиологический принцип Бела и Мажанди в том смысле, что, повидимому, химическая гетерогенность чувствующих и двигательных нервных элементов их окончаний и центров является основой рефлекторного процесса. В спинномозговых синапсах, где происходит стык между химически гетерогенными системами задних и передних корешков, наблюдается, как известно, явление так называемой «синаптической задержки». Последняя, повидимому, имеет своим основанием то, что синапсы представляют собой стык морфологически различных образований, одновременно отличающихся своими энзимохимическими особенностями.

Изучение энзимохимических связей и взаимоотношений гистаминного, ацетилхолинового и адреналинового циклов может представить большой интерес для понимания энзимохимической основы рефлекторной

реакции и находится в поле зрения наших дальнейших исследований. В периферических синапсах (например, в мионевральных образованиях) происходит стык химически-гетерогенной системы эфферентного двигательного нерва и иннервируемой мышцы. Здесь, как мы уже многократно указывали, ацетилхолиновый цикл, характерный для химизма соматического нерва, входит в энзимохимическую связь с адениловым циклом, характеризующим функциональную активность мышцы. Интересно указать, что этот процесс идет в строго определенном направлении. Таким образом, функциональная целостность моторной единицы имеет также свою хемодинамическую основу.

Представление о химической гетерогенности нервов вытекает не только из нашего опыта химической характеристики спинномозговых задних и передних корешков. Оно основывается на результатах наших исследований по определению гистамина и ацетилхолина в целом ряде других нервных образований, а именно: в оптическом, блуждающем и диафрагмальном нервах различных теплокровных животных, а также в нервах боковой линии, плавательного пузыря и жабер ряда рыб и т. д.

Интересно отметить, что у целого ряда исследованных теплокровных животных (крыса, кролик, кошка, собака) количество гистамина в n. phrenicus, n. vagus, n. ischiadicus дало следующий ряд: n. phrenicus > n. vagus > n. ischiadicus.

О той же химической гетерогенности говорят наши опыты по дифференциальному изучению химизма ветвей различного функционального значения у одного и того же нерва. Изучение содержания гистамина и активности гистаминазы в сердечной и желудочной ветвях блуждающего нерва показало существенную разницу в отношении этих показателей в двух названных ветвях. Интересно, что гистаминаза, находящаяся в неактивном состоянии в желудочной ветви блуждающего нерва, активируется при раздражении этого нерва.

Исследования в отношении химической гетерогенности различных нервных образований, проводившиеся нами совместно с ближайшими сотрудницами Д. Е. Рывкиной, Р. Л. Митрополитанской и Н. А. Булатовой, продолжаются в настоящее время, и мы думаем, что они позволят в дальнейшем обосновать развиваемое нами представление о химической гетерогенности нервной системы и ее значении для целостных физиологических актов нервной координации.

Наши данные, относящиеся к последнему времени и подтверждающие современный вывод о химической гетерогенности различных нервных образований, находятся в связи с результатами более ранних работ нашей лаборатории, говорящими о химической гетерогенности различных систем организма по их чувствительности к адреналину и ацетилхолину, а также к алкалоидам, дающим близкие эффекты. Результаты работ в отношении подобной химической гетерогенности различных участков кишечника самых разнообразных позвоночных животных были доложены мной впервые в 1932 г. на Международном физиологическом конгрессе в Риме. Наши сравнительно-физиологические исследования различных участков кишечника разных животных не только установили ступенчатый градиент метаболизма этих участков (по потреблению кислорода и выделению углекислоты), но и соответственно ступенчатый градиент чувствительности к ряду физиологически активных веществ и алкалоидов (адреналину, пилокарпину). Оказалось также, что в ряду близких животных однозначные морфологические образования по-разному реагируют на физиологически активные вещества. Так, адреналин в одном и том же разведении вызывает у лягушки понижение тонуса мышц желудка, а у аксолотля повышение тонуса тех же мышц; наоборот, в то время как у лягушки, как и у большинства позвоночных животных, адреналин вызывает резкое расслабление тонуса всех участков кишечника, у аксолотля (а также у амблистомы) адреналин повышает тонус кишечника (опыты совместно с нашими сотрудниками В. А. Музыкантовым и Р. Л. Митрополитанской, 1932—1933 гг.).

Особенно ярко была выявлена картина градиента чувствительности к адреналину и пилокарпину при исследовании различных участков кишечника разных птиц. Были исследованы три птицы экологически разного типа: голубь, утка, курица (опыты В. А. Музыкантова и Н. Г. Беленького). Сравнительные исследования не только обнаружили совершенно отличную картину типа моторики изолированных участков разных отделов кишечника одной и той же птицы и, при сравнении между собой, картины моторики одного и того же участка у трех исследованных птиц, но и выявили весьма ярко выраженный градиент чувствительности к адреналину и пилокарпину этих разных участков. Именно при этих исследованиях в нашей лаборатории впервые была в 1933 г. обнаружена высокая чувствительность к адреналину некоторых участков

кишечника птиц. Так, у голубя средний участок двенадцатиперстной кишки реагирует на адреналин в разведении 1 на 80 млрд. Высокая чувствительность, но несколько меньшая по сравнению с приведенной степенью чувствительности среднего участка двенадцатиперстной кишки у голубя, была обнаружена нами и детально описана для различных участков кишечника (в аборольном направлении) утки и курицы. Эта чувствительность для разных отделов кишечника колебалась у голубя в пределах от 1 на 2 млрд. до 1 на 80 млрд., у курицы — от 1 на 150 млн. до 1 на 50 млрд. и у утки — от 1 на 25 млн. до 1 на 800 млн. Уже после опубликования наших наблюдений (в 1934 г.) английские исследователи Гаддум и Квятковский в 1939 г. предложили отрезки нижних отделов кишки птиц (утки) в качестве биологического тест-объекта для обнаружения минимальных количеств адреналина и адреналиноподобных веществ, а Бильбринг (из Оксфордской фармакологической лаборатории) в 1944 г. предложила для тех же целей кишечник голубя.

О химической гетерогенности тканей и органов по их чувствительности к физиологически активным веществам, вовлеченным в химические циклы влияния нервов, говорит множество примеров. Общеизвестен обратный характер реакций на адреналин и ацетилхолин мускулатуры сердца и кишечника позвоночных животных. Сравнительные исследования иллюстрируют эти отношения еще более. Мы могли подтвердить факт усиливающего влияния ацетилхолина на ритмику сердца ракообразных, в то время как на сердце позвоночных это вещество в определенных разведениях дает только угнетающий градиент (вызывая, впрочем, усиливающий эффект на сердце теплокровных в больших разведениях). Тот же ацетилхолин, дающий обычно на гладкой мускулатуре позвоночных резко выраженный эффект повышения тонуса, по моим данным дает резко выраженное понижение тонуса гладкой мускулатуры внутренних органов моллюсков, причем атропин у моллюсков не снимает действия ацетилхолина. Надо отметить, что внутри сложных органов, каковым, например, является сердце, химическая гетерогенность касается уже различных отделов сердца. Об этом говорят многие факты, вскрытые при дифференцированном анализе реакции на те или иные физиологически активные вещества различных отделов сердца. Т. М. Турпаев, пользуясь методом осциллографической регистрации ритмических электрических потенциалов ведущего отдела сердца, показал, что при действии сулемы,

которая, связывая сульфгидрильные группы, блокирует передачу действия блуждающего нерва на миокард, ведущий отдел сердца продолжает генерировать ритмические потенциалы.

Все эти данные вводят нас в сферу еще мало известных энзимохимических отношений различных тканей, которые в конечном итоге определяют исход реакции возбуждения как следствие взаимоотношений химических циклов нерва, вызывающего возбуждение, и химических циклов, лежащих в основе функциональной активности данной ткани.

Подобный подход позволяет нам в экспериментальных условиях искать хемодинамическую основу биоэлектрических потенциалов. Мы сделали ряд сообщений в этом направлении.

Испытанные нами ингибиторы углеводного обмена (монойодуксусная кислота, фтористый натр), а также аденозинтрифосфорная кислота заметно изменяют конфигурацию электрограммы сердца как в ее низковольтной, так и высоковольтной частях (опыты Н. Келаревой, Г. Фельдман). Опыты Г. Д. Смирнова вскрыли определенный параллелизм между активностью холинэстеразы ткани головного мозга и характером его биоэлектрической активности.

Как в онтогенезе, так и в филогенезе животных исключительное значение имеет процесс формирования биохимических и физико-химических отношений протоплазмы под влиянием нервной системы. Под этим углом зрения рассматриваются нами процессы врастания нервных элементов в иннервируемые ткани, денервация и редукция нервной системы филогенетического значения.

Уже на фазе образования нервной пластинки отмечается химическая дифференциация индифферентной эктодермы и нервной пластинки по высокому содержанию холинэстеразы в последней. Этот рано возникающий специфический химизм нервной ткани индуцирует определенные химические отношения в протоплазме иннервируемых тканей, лежащие в основе тех сопряженных отношений, которые существуют между специфическими химическими циклами нервов и иннервируемых клеток. Сопряженные химические отношения нерва и иннервируемых клеток не только обусловливают обратимый процесс перехода хемодинамики покоя в хемодинамику возбуждения, но и регулируют чувствительность клеток к химическим раздражителям, и в первую очередь к таким, как ацетилхолин, гистамин, адреналин.

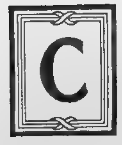
О значении химических взаимоотношений нервов и иннервируемых тканей говорит факт нарушения нормального уровня активности энзимов и химической динамики мышц после перерезки нервов. Использовав разработанный проф. В. В. Ковальским метод хромотографического анализа гликогена, мы имели возможность (по предварительным опытам З. Янсон) убедиться в резком изменении хромотограммы гликогена мышцы на 16—18-й день денервации.

Говоря о перспективах работы в этом направлении, мы прежде всего должны задуматься над вопросом об эволюционном пути и значении возникновения на определенном этапе развития нервной системы сложных энзимохимических циклов, при помощи которых осуществляется не только процесс возбуждения протоплазмы, но и ее возврат к первоначальному состоянию, состоянию покоя.

Содружественная работа физиологов, биохимиков и биофизиков, с учетом особенностей проявления действия нервов у различных животных на различные ткани, должна будет в ближайшем будущем дать прочное обоснование химической основы нервной деятельности. Это в свою очередь будет иметь важнейшим следствием более правильное построение химических методов воздействия на процессы организма в тех случаях, когда необходимо вернуть к норме нарушенный ход нервно-рефлекторной координации.

Член-корреспондент АН УССР
Н. Б. Медведева

УЧЕНИЕ А. А. БОГОМОЛЬЦА О ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ



реди ряда научных проблем, над которыми работал академик Александр Александрович Богомолец, особенно большое значение имеет проблема реактивности организма.

По мнению А. А. Богомольца, основным фактором, определяющим возможность возникновения болезни, ее течение и исход, является нарушение нормальной, полноценной реактивности организма.

От чего же зависит эта полноценная реактивность? Процессы, протекающие в отдельных частях сложного организма высших животных, в том числе и человека, определяются прежде всего свойствами и строением тех органов, где они разыгрываются. Однако организм не является простым комплексом составляющих его органов; это нечто единое, где работа отдельных частей подчинена целому. Очевидно, в нем действуют факторы, регулирующие деятельность отдельных частей и объединяющие органы в организм как целое. В поисках объединяющего начала А. А. Богомольцем было выдвинуто учение о значении соединительной ткани для жизни животного организма, его приспособляемости, трудоспособности, способности к восстановлению, сопротивлению инфекционным заболеваниям и злокачественным опухолям, значении для долголетия. Соединительная ткань раньше рассматривалась как подсобная, опорная ткань, не играющая существенной роли. Ученые ею пренебрегали,

Мечников даже дал ей название «неблагородной» ткани. Этот выдающийся ученый, в своих замечательных исследованиях так близко подошедший к истинной роли соединительной ткани, странным образом не оценил ее значения.

Идея о значении этой ткани была высказана А. А. Богомольцем еще в 1923 г., сначала в форме осторожного предположения, с некоторым опасением быть обвиненным в «ереси». Пытливая мысль ученого продолжала работать в этом направлении, и в 1924 г. выходит первая его статья — «Конституция и мезенхима», трактующая о физиологическом значении соединительной ткани. В 1927 г. в монографии «Введение в учение о конституциях и диатезах» он излагает уже стройное учение о физиологической системе соединительной ткани.

Во вступлении к этой монографии А. А. Богомолец писал: «Я должен сознаться, что в эту часть своей работы я внес известную долю субъективизма, и заранее выражаю признательность тем, кто укажет мне мои ошибки».

Однако только исключительная скромность ученого заставила назвать субъективизмом то совершенно новое учение, которое в настоящее время можно считать общепринятым учением о значении физиологической системы соединительной ткани. Теперь никто уже не сомневается в том, что нет ни одного нормального или болезненного процесса, который развивался бы без участия соединительной ткани. Питание, функция органов, которых Мечников отнес к ряду «благородных» тканей (железы, мышцы, сердце, нервная система), их рост и развитие, восстановление их изношенных элементов, так называемая регенерация их, совершаются при непременном участии соединительной ткани. Заживление пострадавших частей тела совершается при помощи соединительной ткани. Все болезненные процессы — инфекционные, опухолевые, воспалительные, преждевременное старение, перерождение — всегда протекают при участии соединительной ткани. Та реактивность организма, которую А. А. Богомолец называл целительной силой природы, самым лучшим союзником больного и врача, в высокой мере определяется состоянием соединительной ткани.

Что же представляет собой эта физиологическая система?

Согласно учению А. А. Богомольца необходимо различать следующие ее функции:



Богомолец

1) Регуляция питания (трофическая функция) клеток организма и активное участие в обмене веществ. Нарушение трофической функции может быть причиной различных патологических состояний и одной из причин преждевременного старения организма.

2) Пластическая функция: активное участие в заживлении ран и язв, в срастании переломов, в процессах восстановления тканей.

3) Защитная функция: соединительная ткань активно участвует в реакции организма на инфекцию; в соединительной ткани вырабатываются антитела; она проявляет энергичную фагоцитарную деятельность, обезвреживающую бактерии; от реактивности соединительной ткани в значительной мере зависят течение и исход инфекции. Соединительная ткань принимает участие в реакции организма на развитие в нем раковой опухоли.

По мнению А. А. Богомольца, особенности строения и функции соединительной ткани организма позволяют разделить людей на четыре основных конституциональных типа: липоматозный (склонный к ожирению), пастозный, или лимфатический (сырой, рыхлый), астенический (с тонкой, нежной соединительной тканью) и фиброзный (с плотной, крепкой соединительной тканью). Конституциональная принадлежность человека к тому или иному из этих четырех типов определяет его реактивность и предрасположение к тем или иным заболеваниям и в зависимости от этого — его долголетие.

У французских врачей, говорил А. А. Богомолец, популярно утверждение, что человек имеет возраст своих артерий. Однако артериосклероз — только одно из проявлений общего склероза соединительной ткани. Поэтому с полным основанием можно заменить эту поговорку утверждением, что человек имеет возраст своей соединительной ткани. Отсюда и вывод: «борьба за долголетие должна быть в значительной мере борьбой за здоровую соединительную ткань».

«Старение соединительной ткани, лежащее в основе упомянутых явлений, — писал А. А. Богомолец, — наступает раньше, чем старческие изменения клеток нервной системы, печени, почек и других органов, которые (изменения) являются в значительной мере следствием нарушения трофических, т. е. питательных функций физиологической системы соединительной ткани. Физиологическая система соединительной ткани есть как бы корень организма. Она отграничивает все прочие клетки

организма от крови, являющейся, подобно почве для растений, источником питательных веществ для клеток, и подобно тому как от состояния корня в значительной мере зависят питание и долголетие растительного организма, так и состояние клеток физиологической системы соединительной ткани оказывает аналогичное влияние на организм животных и человека».

Благодаря разрастанию соединительной ткани заживают, затягиваются рубцом поврежденные органы, сломанные кости, раненые ткани. Клетки соединительной ткани при этом растут навстречу друг другу, скрепляют края ран своими волоконцами. Последние оплотневают (склерозируются) и образуют плотный рубец. Однако таким стягиванием не ограничивается роль соединительной ткани. Благодаря ее участию в обмене веществ, благодаря трофической функции соединительной ткани, создаются условия полного восстановления нормальной функции органов.

Соединительная ткань защищает организм от заражения. Наиболее совершенная защита заключается в том, что проникшие в организм болезнетворные микробы уничтожаются соединительной тканью так быстро, что заболевание не успевает развиться, и о проникновении микроба в организм даже не знает зараженный человек. Если же такая наиболее совершенная защита не удается (слишком вирулентны микроорганизмы или недостаточно сильна и реактивна соединительная ткань), то последняя отвечает на заражение местной реакцией в виде воспаления с последующим уничтожением микробов в местном очаге и общей реакцией в виде мобилизации на борьбу с инфекцией соединительнотканных клеток всего организма, с образованием специальных веществ, вырабатываемых соединительнотканными клетками и циркулирующих в крови. Назначение этих веществ (антител) — парализовать, склеить, растворить бактерии и обезвредить образуемые ими токсины.

Очень большой интерес представляет утверждение А. А. Богомольца, что реактивность соединительной ткани имеет огромное значение и при развитии рака. По его мнению, рак не может развиться в организме, физиологическая система соединительной ткани которого сохранила достаточную сопротивляемость. Явления «предраковой болезни» в большей или меньшей степени связаны с нарушением реактивности соединительной ткани. А. А. Богомолец неоднократно высказывался в том смысле, что в

плоскости восстановления этой реактивности следует искать пути для терапии и профилактики рака.

От состояния физиологической системы соединительной ткани зависят развитие и исход еще одного грозного врага нормального долголетия человека — артериальной гипертонии. Давление крови повышается, иногда далеко за пределы нормального, вследствие изменений той части соединительной ткани, которая отделяет кровь от клеток организма и является так называемым гемато-паренхиматозным барьером.

Разработанное А. А. Богомольцем учение о физиологической системе соединительной ткани, несомненно, доказывает огромную роль этой системы в жизни организма при всех условиях, нормальных и патологических. Отсюда ясно значение возможности воздействия на эту систему, влияния на нее для сохранения нормальной жизнеспособности и реактивности, для предотвращения ее преждевременного изнашивания и для восстановления ее силы и функций при нарушении их. Такое средство воздействия на соединительную ткань было предложено А. А. Богомольцем в виде так называемой антиретикулярной цитотоксической сыворотки, сокращенно называемой АЦС.

Если повторно вводить под кожу, в кровь или брюшную полость животному одного вида клетки от животного другого вида, то кровь первого животного приобретает особые свойства по отношению к тем клеткам, которые были ему введены. Например, если повторно вводить кролику красные кровяные тельца барана, сыворотка кролика начинает склеивать и разрушать эти кровяные тельца, оставаясь недеятельной по отношению к другим клеткам барана. Свойство, приобретаемое кровью, специфично, т. е. строго ограничено теми клетками, которые вводились животному под кожу. Если вводить лошади ткань, например, кошачьей почки, то сыворотка лошади приобретает способность повреждать только почечные клетки кошки и никакие другие. Появляющиеся при этом в крови вещества называются цитотоксинами, т. е. клеточными ядами, а сыворотка, обладающая этими веществами, — цитотоксической.

Если вводить животному одного вида взвесь соединительнотканных клеток животного другого вида, первое животное начинает вырабатывать цитотоксины для соединительной ткани. Таким образом, получается специфическая цитотоксическая сыворотка по отношению к соединительной ткани. Так как соединительная ткань имеет волокнистое (ретикулярное)

строение, то эта цитотоксическая сыворотка называется антиретикулярной.

Почему же сыворотка, токсичная для соединительной ткани, может оказаться целительным средством?

Заслуга А. А. Богомольца заключается в том, что он доказал, что осторожным воздействием цитотоксинами можно без повреждения клетки вызвать в ней состояние функционального возбуждения. В своей докторской диссертации еще в 1909 г. он показал, что осторожным применением малых доз сыворотки, цитотоксической для надпочечника, можно вызвать состояние возбуждения, усиленной функции этой железы, а при введении больших доз, наоборот, наблюдаются явления угнетения функции.

Одним из тезисов своей диссертации А. А. Богомолец выставил положение: «Изучение действия цитотоксических сывороток на органы и ткани, как метод биологического исследования, далеко еще не сказало своего последнего слова и заслуживает большего внимания и изучения». Это изучение еще долго не говорило «своего последнего слова», — оно молчало до 1923 г., не даваясь в руки исследователя. Дело в том, что количество образовавшегося под влиянием введения чужеродных клеток и циркулирующего в крови цитотоксина не поддается непосредственному определению, так как химическая природа его неизвестна. О присутствии его в сыворотке можно судить только на основании биологической реакции — возбуждения функции от малых доз и угнетения от больших. А. А. Богомолец предложил определять содержание его в крови на основании специальной реакции, близкой к реакции Вассермана. Эта попытка дала блестящий результат, и с этого времени началось интенсивное изучение влияния на животный организм сыворотки, специфической для соединительной ткани.

Как было упомянуто раньше, одной из защитных функций этой ткани является выработка антител. Чем активнее состояние соединительной ткани, тем энергичнее совершается эта выработка. Первые опыты с применением на кролике антиретикулярной цитотоксической сыворотки, произведенные еще в саратовской лаборатории А. А. Богомольца, показали, что после иммунизации барана органами, богатыми активными элементами соединительной ткани — костным мозгом, селезенкой, сальником, полученные сыворотки оказывают сильное стимулирующее дей-

ствие на выработку кроликами антител по отношению к эритроцитам барана, а также и к брюшнотифозной палочке.

Дальнейшие исследования показали, что АЦС спасает животное от гибели при заражении его смертельной инфекцией. Белые мыши обычно погибают при заражении их возвратным тифом. Но если предварительно, перед заражением, стимулировать соединительную ткань мыши сывороткой, большая часть мышей справляется с инфекцией и выздоравливает. Это показали опыты, проведенные в московской лаборатории А. А. Богомольца.

Если состояние соединительной ткани определяет предрасположение организма к заболеванию раком, то применение сыворотки в стимулирующей дозе должно повысить резистентность животного к злокачественной опухоли. Это и показали опыты, проведенные А. А. Богомольцем в его московской лаборатории. Малые дозы сыворотки, стимулирующие защитную реакцию соединительной ткани, резко снизили возможность прививки рака лабораторным животным.

Сывороточная стимуляция соединительной ткани препятствует также распространению опухоли по организму, образованию у животного вторичных раковых узлов — метастазов, резко ограничивает тенденцию рака к распространению по всему организму.

Усиливая пластическую функцию соединительной ткани, сыворотка значительно ускоряет срастание переломов костей и способствует образованию крепкой костной спайки, как показали опыты, проведенные в киевской лаборатории А. А. Богомольца.

Улучшая трофическую функцию соединительной ткани, сыворотка ликвидирует ряд изменений в органах и тканях, развивающихся при старении животного. Она способствует удалению из органов тех шлаков обмена, которые накапливаются с возрастом и препятствуют правильной функции данного органа.

Полученные данные побуждали к попыткам перейти от лабораторного животного к больному человеку.

При каких же условиях можно и должно применять сыворотку А. А. Богомольца у постели больного? Ответ на этот вопрос прост: при всех тех ненормальных состояниях организма, когда трофическая, пластическая и защитная функции его соединительной ткани оказываются неполноценными.

А это бывает весьма часто: и при длительно незаживающих ранах и язвах, и при хронических инфекционных процессах, и при злокачественных опухолях, и при длительно нерассасывающихся легочных нагноениях, и при язве желудка, и при некоторых душевных болезнях. Сыворотка А. А. Богомольца не является средством, направленным на причину того или иного заболевания, подобно, например, антидифтерийной сыворотке, специфически обезвреживающей дифтерийный токсин. Механизм действия АЦС совершенно иной: она не действует ни на бактерии, ни на раковую клетку, но она способна резко усилить реактивность организма и повысить способность его соединительной ткани к выполнению защитных, пластических и трофических функций.

Это свойство сыворотки А. А. Богомольца, проверенное в течение 10 лет на сотнях тысяч больных и раненых, явилось бесспорным доказательством глубокой обоснованности теоретической концепции автора о физиологическом значении соединительной ткани организма.

Академик

Е. Н. Павловский

ЗООЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ОЧАГОВОСТИ БОЛЕЗНЕЙ



ущность учения о природной очаговости трансмиссивных болезней заключается в следующем.

Возбудители некоторых болезней — будь то фильтрующиеся вирусы, риккетсии, бактерии, спирохеты и простейшие — являются сочленами населения живой природы на некоторых территориях большей или меньшей протяженности.

Эти возбудители являются исконными насельниками таких территорий. В силу исторически сложившихся адаптаций к паразитическому существованию многие из них в процессе их эволюции потеряли всякую непосредственную связь с внешней средой и перешли исключительно к паразитарной жизни в различных животных. В связи с этим поддержание видового существования любого облигатно-паразитического возбудителя обеспечивается возможностью перехода его из одной особи животного в другую. Животные, дающие в своем организме приют возбудителям, именуются в общем, как известно, их резервуарами.

Однако рассматриваемый процесс перехода возбудителя из организма в организм обусловливается целым рядом зависимостей, прежде всего определяемых наличием в фауне местности не только животных — резервуаров возбудителя, но и существ, восприимчивых к заражению возбудителем болезни.

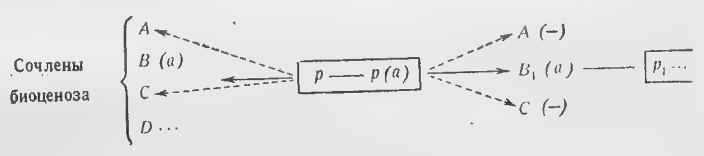
Процесс циркуляции возбудителя определяется характером путей перехода возбудителя из организма в организм. Этот переход бывает непосредственным, когда здоровая особь соприкасается с зараженной возбудителем; часто же переход возбудителя зависит от участия биотических агентов внешней среды, т. е. посредников, которыми являются различные насекомые и клещи, именуемые по этой их способности переносчиками.

Следовательно, для поддержания видового существования возбудителей некоторых трансмиссивных болезней на текущем этапе эволюции жизни требуется наличие в составе населения той же территории животных-резервуаров (или доноров) возбудителей трансмиссивных болезней и их переносчиков. Но это еще не все.

Способностью передавать возбудителя болезни могут обладать различные насекомые и клещи, но проявляют это свойство в природных условиях лишь особи тех видов, которые могут каким-либо путем получать возбудителя болезни от животного-донора и передавать его другому еще не зараженному существу (реципиенту). Это может осуществляться лишь при наличии определенных связей между животными, населяющими данную территорию.

Возбудители, животные-резервуары, их переносчики и восприимчивые к заражению возбудителями организмы на определенной территории входят в состав присущих ей биоценозов, включающих в себе также большее или меньшее число других животных, к которым рассматриваемый возбудитель болезни не имеет никакого отношения (индифферентные по этой особенности организмы). Существование биоценоза как целого определяется наличием биоценотических связей, преимущественно пищевого характера. На фоне весьма большого разнообразия таких соотношений циркуляция возбудителя болезни идет по пищевым связям между переносчиками, животными-резервуарами и восприимчивыми к переносчику организмами (реципиентами).

Объясним этот процесс схемой:



В составе биоценоза имеются млекопитающие различных видов (*A*, *B*, *C*, *D* ...), кровь которых пьют, допустим, клещи вида *p*. Особи одного из этих видов млекопитающих *B* являются носителями или резервуарами возбудителя болезни *a*. Если клещ сосет кровь носителя в то время, когда возбудитель находится в этой крови, то последний со всасываемой кровью переходит из млекопитающего *B* (*a*) в организм клеща *p* (*a*). Клещи этого же вида могут пить кровь и других животных (*A*, *C*, *D*), не являющихся резервуарами возбудителя, и такие клещи, естественно, возбудителя болезни не получают.

В процессе последующего питания клещи с возбудителем в них *p* (*a*) нападают на различных теплокровных животных из состава того же биоценоза и при сосании их крови передают им возбудителя. Дальнейшая судьба его зависит от того, в какой вид животного он попадет. В невосприимчивых животных *A* (—), *C* (—) возбудитель погибает, а в восприимчивом B_1 (*a*) он получает шансы на дальнейшее существование, переход в нового переносчика и т. д.

Рассмотренный процесс циркуляции возбудителя в биоценозе при наличии всех потребных для того организмов протекает не автономно от внешних условий. Факторы внешней среды, как биотические, так и физические, в широком смысле этого понятия, оказывают решающее влияние на возможность осуществления перехода возбудителя из организма в организм. Например, при известной комбинации температуры и влажности переносчик не нападает на животных для питья их крови. Поэтому он может находиться бок о бок с резервуаром возбудителя и оставаться незараженным. С другой стороны, переносчик с возбудителем в нем при тех же внешних условиях не может передать его восприимчивому организму.

Неблагоприятные условия внешней среды, действуя косвенно через организм переносчика на полученного им возбудителя, могут затормозить или вовсе пресечь развитие возбудителя в переносчике, что ведет к разрыву пути циркуляции вируса по намечавшейся линии.

Биотические факторы могут действовать в таком же отношении. При наличии в составе биоценоза множественных источников кровососания переносчик может предпочитать питание за счет крови индифферентных организмов, пренебрегая наличием животных — резервуаров возбудителя.

Суммируя все эти данные в одно целое, можно утверждать, что некоторые территории потому являются природными очагами трансмиссивных болезней, что их возбудители — животные-резервуары, переносчики и восприимчивые организмы входят в состав населения этой территории, являясь сочленами более или менее обширного биоценоза. Существование такого очага поддерживается вследствие непрерывности перехода возбудителя болезни из организма в организм при условии благоприятного действия факторов внешней среды на различные стороны такой циркуляции.

Не все участки общей территории природного очага могут оказаться благоприятными для осуществления пробной передачи возбудителя или прямого перехода его из организма в организм. В действие вступают, как сказано, факторы внешней среды, свойственные рассматриваемой территории. Особое значение имеет микроклимат ее биотопов, который в иных случаях автономен от общего климата данной территории. По измерениям проф. Латышева, температура и влажность в норах песчанок в полупустыне Мургаба — в природных очагах пендинской язвы — держится на одном и том же уровне, оптимальном для жизни многих сообитателей такой норы, и в том числе для весьма нежных насекомых — москитов (*Phlebotomus*), среди которых имеются переносчики возбудителя пендинской язвы. В то же самое время снаружи поверхность почвы днем чрезвычайно накаляется под палящими лучами солнца; ночью же происходит ее сильное охлаждение; все это заставляет животное население полупустыни уходить с поверхности почвы, чтобы избежать гибельного влияния жары и холода.

Природные очаги трансмиссивной болезни возникают в процессе своего исторического становления как результат действия движущих сил эволюции фауны и флоры, компоненты которой слагаются в биоценозы, свойственные определенным территориям; по ходу своего зарождения и дальнейшего существования в нетронутых человеком местах эти очаги совершенно от него независимы ни в прошлом, ни в настоящем. Когда же человек появляется на территории природного очага в сезон активного состояния переносчиков, зараженных возбудителем трансмиссивной болезни, то они нападают на него как на доступный, новый, обильный источник питания и в процессе сосания его крови передают ему возбудителя. Если человек восприимчив к последнему, то результатом

является заболевание его соответственной болезнью, полученной из природного ее источника.

Число болезней, которым свойствен феномен природной очаговости, постепенно увеличивается, что зависит от глубины исследования этого столь же интересного, сколь и практически важного явления.

На территории нашей страны природная очаговость свойственна: клещевому энцефалиту, вероятно энцефалиту японскому; клещевому возвратному тифу; клещевым сыпнотифозным лихорадкам, передаваемым различными видами иксодовых клещей; кожному лейшманиозу в зоне полупустынь; туляремии; по всей видимости бруцеллезу, и, вероятно, лихорадке папатачи.

Из болезней субтропических и тропических стран природная очаговость свойственна: желтой лихорадке в джунглях; клещевому возвратному тифу; клещевым сыпнотифозным лихорадкам, передаваемым иксодовыми клещами и клещами-краснотелками; кала-азар; сонной болезни в тропической Африке; болезни Чагаса в Бразилии и др.

Территория природного очага болезни, не используемая человеком, представляет скрытую потенциальную эпидемиологическую опасность; эта опасность становится реальностью, когда на территории очага появляются люди, восприимчивые к болезни, скрытой в природном очаге. Это обстоятельство бывает чревато последствиями, особенно для сезонных рабочих, переселенцев, воинских частей, кадров рабочих на новостройках, групп топографов, членов научных экспедиций, отрядов, производящих изыскательские работы и др.

Для охранения здоровья таких коллективов требуется уменье производить пробное обследование осваиваемой или используемой территории для выявления ее потенциальной эпидемической опасности в отношении наличия природных очагов болезней, изученных более или менее детально. Учение о природной очаговости в своей части, касающейся анализа показателей существования таких очагов, рекомендует исследователям требуемые методы работы. Эти методы варьируют в зависимости от характера природного очага и места его нахождения. В конечном счете они позволяют ставить *прогноз эпидемической опасности местности*, приобретающей народнохозяйственное значение.

Цели этих исследований различны: в теоретическом отношении такие работы важны для выяснения географического распространения природных очагов трансмиссивных болезней как характерных показателей особенностей краевой паразитологии страны; непосредственное практическое значение их заключается в возможности проведения профилактических мероприятий для ограждения прибывающих кадров от заболевания. Важным элементом охранения здоровья является индивидуальная профилактика на основе широкого проведения санитарно-просветительной работы и предоставления населению необходимых для этого средств. Меры индивидуальной профилактики касаются прежде всего защиты самого себя от нападения переносчиков; таковы: применение (на кожу) пахучих отталкивающих веществ; использование защитных отпугивающих сеток автора; ношение защитного платья; наружные осмотры — для удаления с одежды забравшихся на нее переносчиков; осмотры тела и одежды при раздевании — для той же цели и др.

Меры коллективной защиты: устройство не доступного для переносчиков жилья или соответственная обработка его ближайшего окружения; обработка территории для уничтожения переносчиков и животных-резервуаров возбудителей (выжигание сухостоя, расчистка зарослей, мелиорация, истребление грызунов и др.); суточное планирование работ на воздухе, с тем чтобы избежать массового нападения переносчиков; изоляция больных трансмиссивными болезнями, распространяемыми летающими насекомыми.

Меры воздействия на организм человека: вакцинация (при наличии вакцин) против трансмиссивных болезней, природные очаги которых свойственны осваиваемой территории; химиотерапевтическая профилактика, если она возможна. Последние два метода при их применении не устраняют необходимости борьбы с переносчиками и с животными-резервуарами возбудителя, так как именно эта форма борьбы является ведущей в деле ликвидации природных очагов трансмиссивных болезней.

Изучение природного очага болезни требует комплексного метода, т. е. согласованной работы ряда специалистов: зоологов, фаунистов, экологов, паразитологов, ботаников, бактериологов, патологов, эпидемиологов и представителей других специальностей, смотря по особенностям разрешаемой задачи.

Применение комплексного метода исследования дало блестящие результаты в руках советских ученых, что сказалось в срочном разрешении таких новых для науки вопросов, как весенне-летний энцефалит, клещевой сыпной тиф в Западной Сибири, крымская геморрагическая лихорадка, сельская форма пендинской язвы и др.

Основная цель статьи — определить место и показать значение в комплексном изучении природного очага трансмиссивной болезни и методов его ликвидации таких биологических специальностей, как зоология, фаунистика, экология и паразитология в ее зоологической основе.

Первая задача — установление наличия переносчиков и животных-резервуаров в составе фауны обследуемой территории. Если уже известны виды переносчиков и резервуаров возбудителя, то эта работа сводится к чисто зоологическим приемам отлова животных, насекомых и клещей и последующего систематического их определения (энтомология и арахнология).

Наряду с этим необходимо установить на этой же территории наличие «запаса возбудителя», что достигается совместной работой зоолога и бактериолога. Положительный ответ получается тогда, когда удается найти переносчиков, спонтанно зараженных возбудителем трансмиссивной болезни; то же в отношении животных-резервуаров возбудителя. Для этой фазы работы требуется добывание и сохранение переносчиков в живом виде до срока их микробиологического исследования. Для одних возбудителей такое исследование должно вплотную прилегать ко времени вылова переносчиков; в других случаях, когда известна продолжительность пребывания возбудителя в переносчике, срок определения его спонтанной зараженности может отодвигаться на значительное время, иногда даже на период появления его потомства. Для ряда видов переносчиков установлена способность их передавать возбудителя от зараженной матери ее потомству, когда оно находится в ее организме на положении яиц, развивающихся в яичнике (клещи и вирус клещевого энцефалита, клещи и спирохеты клещевого возвратного тифа, москиты и вирус лихорадки папатачи и др.).

Со стороны зоолога на очередь ставится необходимость изучения биологии переносчика на разных фазах его метаморфоза и уменье содержать переносчиков в лаборатории в течение всей их жизни (до их размножения) и выводить следующее их поколение. У партнера — микробиолога

может возникнуть потребность иметь живых переносчиков, стерильных в отношении обычно передаваемого ими возбудителя для экспериментального их заражения.

Животных-резервуаров возбудителей приходится искать прежде всего между теми организмами, которые в составе фауны изучаемой территории бывают хозяевами переносчика. Это наземные позвоночные, прежде всего млекопитающие, птицы, а также пресмыкающиеся. На первом месте по значению стоят млекопитающие, но для возбудителей некоторых трансмиссивных болезней существенное значение имеют и птицы (японский и клещевой энцефалиты, отчасти туляремия и другие болезни). Следовательно, в комплексе работ необходимо участие маммолога и орнитолога, а при новых исследованиях и герпетолога. На долю этих специалистов падает выявление фауны из их группы животных в месте исследований; определение наличия в составе фауны видов, особи которых могут быть резервуарами вируса; определение стаций, с которыми на территории очага связаны эти животные.

Все добываемые экземпляры животных и птиц поступают к паразитологу для снятия с них наружных паразитов, в числе которых могут быть искомые переносчики. То же животное или птица переходит в распоряжение микробиолога для определения возможного присутствия в ней возбудителя.

При такой структуре и последовательности работ достигается ряд целей: выявление фауны изучаемого очага в отношении животных — резервуаров и переносчиков возбудителей — и распределение их по стациям, установление сезонной динамики переносчиков в видовом и количественном отношениях и др. Все это является исходной базой для завершающего акта — выявления наличия возбудителя в спонтанно зараженных переносчиках и животных-резервуарах возбудителя. Особым вариантом аналогичного значения служит определение наличия в сыворотке крови здоровых или ранее переболевших животных противотел к вирулентному возбудителю, искомому в обследуемом очаге.

Дальнейшим углублением исследований является определение положения переносчика, резервуаров возбудителя и восприимчивых к нему организмов в составе биоценоза (или биоценозов) территории обследуемого очага. Последующее раскрытие ведущих биоценотических связей между ними облегчает изучение путей циркуляции возбудителя из орга-

низма в организм и обеспечивает поиски особей, спонтанно зараженных возбудителем, что и является основным ответом на поставленную задачу исследования.

Когда выяснена основная канва фактов, определяющих существование природного очага трансмиссивной болезни, необходимы новые и новые экологические и эколого-паразитологические исследования над влиянием факторов внешней среды на процесс циркуляции возбудителя в природном очаге. В свете этих исследований становится объяснимой сезонность трансмиссивных болезней; открываются места зимования возбудителя (организм переносчика, фаза его метаморфоза, стация зимования самого переносчика); определяются условия места и времени возможного заражения человека возбудителем болезни из природного ее очага, что в свою очередь позволяет выбрать рациональные методы профилактики и установить календарные сроки ее проведения.

Весьма полезно связывать сезонность активности ведущих факторов, определяющих существование природного очага болезни, с наблюдениями фенологического характера на территории очага. Смена фенологических явлений может служить своего рода живым календарем параллельно протекающих в природном очаге болезни узловых процессов перехода пассивного его состояния в активное, периода наибольшего эпидемического напряжения очага, времени, наиболее благоприятного для заражения человека, и других специальных особенностей жизни выявленного очага.

Все изложенное касается изучения природного очага трансмиссивной болезни как такового на какой-то ограниченной территории.

Заключительным этапом является сравнительное изучение природных очагов трансмиссивных болезней в отношении связи их с основными географическими ландшафтами страны, прорезывающими ее административные подразделения.

В настоящей стадии развития комплексных исследований мы уже можем набросать схему ландшафтно-эпидемиологического районирования страны в отношении приуроченности характерных природных очагов болезней к тому или другому географическому ландшафту. Здесь необходима существенная оговорка. Известные территориальные части географического ландшафта могут пребывать в девственном состоянии, как не затронутые еще деятельностью человека. Другие части того же

ландшафта веками осваиваются человеком, хозяйственная деятельность которого видоизменяет их (например, нетронутая тайга и ее видоизменения в окультуренных зонах). Между этими крайними состояниями территорий рассматриваемого ландшафта имеется ряд переходов, явственных и в настоящее время; зависят они от характера и темпов освоения человеком ранее лежавших втуне мест.

В связи с такими изменениями ландшафта под влиянием сознательной или бессознательной деятельности человека видоизменяются и условия существования природных очагов трансмиссивных болезней. Одни из них (например, пендинка, клещевой возвратный тиф) передвигаются в зону жизни и хозяйственной деятельности человека; другие достигают расцвета своего эпидемиологического влияния в период начала освоения территории с природно-очаговой болезнью (клещевой энцефалит) и ослабевают вплоть до затухания по мере окультуривания занятой территории.

Существенную помощь в установлении приуроченности природных очагов трансмиссивных болезней к тому или другому ландшафту оказывают геоботанические исследования; именно они выявляют видовой спектр растительности, типичной для географических ландшафтов в разных фазах влияния человеческой деятельности. В самом же природном очаге трансмиссивной болезни эти исследования тесно связываются с определением условий микроклимата мест нахождения переносчиков, определяющего активность их поведения, а также сроки и возможности развития в их организме возбудителя болезни, свойственной данному очагу.

На основании современного состояния нашего знания можно набросать следующую схему распределения природных очагов трансмиссивных болезней по ландшафтно-географическим зонам страны.

1. Тундра в сезон своей короткой жизни является царством гнуса, который действует токсическими свойствами слюны входящих в состав его двукрылых — комаров, мошек, мокрецов и слепней. Тундре свойственны местами очаги туляремии, поражающей леммингов. Заболеваемость этих грызунов бывает трансмиссивного характера. Туляремия вообще широко распространена в различных климатических поясах, но в тундре она характеризуется заболеванием леммингов, тогда как южнее главным животным, поражаемым туляремией, является водяная крыса.

2. Тайга Дальнего Востока, Сибири и ее дериваты в Европейской части СССР служат пристанищем клещевого энцефалита. В дендрологическом отношении она кедрово-широколиственна; ведущим по своему значению элементом очага клещевого энцефалита является специфический переносчик его вируса — иксодовый клещ *Ixodes persulcatus*. Самой северной пока установленной точкой является Нарым Томской области.

На юге клещевой энцефалит распространен в лесах Саянского хребта и Алтая, а юго-западнее — даже в некоторых местах Казахстана. В лесах Европейской части СССР преобладает *Ixodes ricinus* — переносчик болезни овец (Loupping ill), передающий клещевой энцефалит человеку. Распространение этого клеща мозаичное, что и обусловливает редкость заболевания людей клещевым энцефалитом здесь по сравнению с Дальним Востоком, но при благоприятных условиях нападения клещей на большое число людей, проникших в леса, заболеваемость клещевым энцефалитом может давать значительные вспышки, как то и было в лесах Волхова. Животными-резервуарами вируса служат бурундук, еж амурский, крот уссурийский, волчата, белка и некоторые птицы (рябчик, поползень и др.).

3. В Приморье и на Ляодуньском полуострове бывают вспышки японского энцефалита, переносчиками которого являются немалярийные комары: *Aëdes togoi*, *Culex bitaeniorhynchus*, *Culex tritaeniorhynchus*. Стациями их нападения на человека являются сенокосы в болотистых местностях. Природная очаговость этой болезни весьма вероятна. Резервуарами вируса служат, видимо, птицы.

4. Здесь же в Приморье, на кочкарниках болот, поросших кустарниками, имеются очаги клещевого сыпного тифа с переносчиком — клещом *Haemaphysalis concinna*; севернее, в Биробиджане, выявлен и другой переносчик — также клещ *Dermacentor silvarum*; животными-резервуарами возбудителя являются грызуны.

Далее на запад по Амуру *D. silvarum* сменяется другим видом переносчика — клещом *D. nuttalli*, обитателем степей Забайкалья, Монголии, Красноярского края. Детально изученные очаги под Красноярском связаны с такими грызунами, как хомяк, суслик и др. Эти грызуны являются хозяевами личинок и нимф *D. nuttalli*, от которых они получают возбудителя и которых грызуны, в качестве доноров, могут со своей стороны снабжать вирусом. Личинки и нимфы человека не трогают, и кле-

76*

щевой сыпной тиф ему могут передавать только самки, перезимовавшие с вирусом в них. Далее к западу и к югу клещевой сыпной тиф показан для степей Алтайского края и Кемеровской области. Очаги этой болезни обнаружены в Киргизии вокруг озера Иссык-Куль. Далее к западу распространение очагов клещевого возвратного тифа перерывается вплоть до юга Украины; но этот перерыв во многом, быть может, зависит от того, что его очагов в отмеченной полосе никто еще не искал. На юге Украины, в Крыму, в Румынии, на Балканском полуострове и по берегам Средиземного моря существует средиземноморская сыпнотифозная лихорадка, с переносчиком — собачьим клещом *Rhipicephalus sanguineus*, великолепно приспособившимся к обитанию в городских условиях; резервуаром возбудителя является собака.

Таким образом, намечается огромная полоса распространения природных очагов клещевого сыпного тифа, преимущественно по степной зоне.

5. На юге со степной зоной связана болезнь, которая обратила на себя внимание после изгнания фашистских банд. Это крымская геморрагическая (вирусная) лихорадка. Изучение ее — в разгаре, но и теперь уже можно утверждать, что этой болезни также свойственна природная очаговость. Переносчиками ее служат клещи *Hyalomma marginatum*; спонтанно зараженные экземпляры этих клещей были добыты с зайца. Весьма вероятно, что очаги этой болезни будут установлены и в других местах юга страны. Уже говорят о сходстве с этой болезнью заболеваний, наблюдавшихся под Сталинабадом.

6. Южнее, в зоне пустынь, от Прикаспийской низменности к востоку, а также в песках Кизыл-Кумов и остатков их под Ашхабадом, в долине Фэрганы и в лёссовой пустыне по долине Мургаба эндемичен клещевой возвратный тиф, распространяемый норовыми клещами — *Ornithodorus tartakovskyi*, животными-резервуарами их являются песчанки и другие грызуны. Вследствие биологических особенностей норовых клещей они лишь в очень редких случаях могут нападать на человека и передавать ему клещевой возвратный тиф, возбудителем которого является *Spirochaeta Latyshevi*.

В предгорной зоне и в горных районах до высоты 2800 м над уровнем моря (на Западном Памире) широко распространен клещевой возвратный тиф, передаваемый *Ornithodorus papillipes* с резервуарами возбудителя *Spirochaeta sogdianum* — дикобразами, ежами, крысами и другими

животными. Природными очагами являются гроты и пещеры, заселенные клещами-переносчиками или имеющие в своих стенах норы животных-резервуаров вирусов с клещами в них. Клещи-переносчики и крысы легко переселяются в примитивные жилье и службы, вследствие чего в селениях возникают свои очаги клещевого рекурренса, имеющие прямое влияние на человека.

В горных районах Закавказья очаги этой болезни также связаны с норами, в которых живут клещи переносчика *Ornithodorus verrucosus* и клещи, близкие к виду *Orn. maroccanus*. В горном Кара-Калинском районе Туркмении встречаются три вида клещей-переносчиков — *Orn. papillipes*, *Orn. tartakovskyi* и *Orn. nereensis*. *Orn. papillipes* встречается и в Кара-Калпакии. Пределы распространения клещевого возвратного тифа отодвигаются южнее с переходом в Хорасан (Иран), на север центрального плато Ирана и в Иранский Азербайджан.

7. Пустыне долины Мургаба свойственна мокрая форма пендинской язвы. Животным-резервуаром ее возбудителя являются песчаники (*Rhombomys opimus*) и тонкопалый суслик (*Spermophylopsis leptodactylus*), переносчиками — москиты *Phlebotomus papatasii*. Весь путь циркуляции возбудителя этой формы пендинки замыкается в норе грызуна. Здесь — классический природный очаг этой болезни. Но москиты по ночам вылетают наружу; и если поблизости очутится человек, то они нападают на него и передают ему пендинку, возбудитель которой получен ими от грызуна. Этим и объясняются случаи заражения пендинской язвой в безлюдной пустыне. Если же человек оседает на жительство в таких местах, то москиты перебираются в непосредственную близость к нему, и в результате очаги пендинской язвы закрепляются в селениях, где в дальнейшем резервуарами возбудителя становятся больные пендинкой люди.

Не приходится сомневаться в том, что далеко не все природные очаги трансмиссивных болезней открыты на территории страны. Весьма возможно, что и очаги не известных еще трансмиссивных болезней также скрыты в недрах природы. На очереди — дальнейшее комплексное исследование территорий в целях последующего эпидемиологического районирования страны по паразитологическим показателям ее особенностей в краевых и ландшафтных масштабах.

Эколого-паразитологический анализ условий существования природных очагов трансмиссивных болезней и выявление путей заражения ими

человека позволяют выделить факторы ведущего значения в указанных отношениях. На этом этапе изучения вопроса намечены следующие практические мероприятия: 1) изыскание способов охранения человека от заражения болезнью из ее природного очага, когда он должен находиться на территории этого очага, и 2) разработка коренных мер — сначала по снятию эпидемической напряженности природного очага болезни, а затем по ликвидации его и предотвращению возобновления его в будущем.

Основой таких работ по борьбе с трансмиссивными болезнями, поражающими человека из их природных очагов, является биологическое и экологическое изучение переносчиков возбудителей, их сезонности, времени и условий нападения на человека — для принятия мер индивидуальной и групповой профилактики, а также для отыскания уязвимых сторон биологии переносчиков и животных-резервуаров возбудителя — в целях максимального их уничтожения. В наших руках имеются бесспорные доказательства целесообразности проведения таких мероприятий по борьбе с пендинской язвой, клещевым сыпным и возвратным тифами и с клещевым энцефалитом.

В условиях работ IV пятилетки особое значение приобретает то обстоятельство, что неиммунные группы людей будут попадать для различных работ на территории, обладающие природными очагами трансмиссивных болезней. Поэтому по отношению к более или менее известным болезням с природной очаговостью должны заблаговременно предусматриваться возможность развития соответственной заболеваемости и необходимость ее предупреждения и борьбы с ней. То же требование распространяется и применительно к другим эндемичным трансмиссивным болезням (малярия, японский энцефалит, лихорадка папатачи и др.).

В некоторых местах особенно грандиозных народных строительств, когда массы людей по ходу работ вступают в тесный контакт с природными условиями жизни, могут встретиться и не известные еще болезни, возбудители которых гнездятся где-то в недрах природы. Подобные встречи могут оказаться совершенно непредусмотренными наукой. Тем более необходимо обеспечить выявление и научное исследование подобных случаев, которые позднее могут не повториться.

Академик

Н. Н. Аничков

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АРТЕРИОСКЛЕРОЗА


ртериосклероз, согласно общепринятому определению, представляет собой хроническое заболевание, очень часто встречающееся в пожилом возрасте и выражающееся в утолщении и уплотнении артерий. Главным процессом, лежащим в основе артериосклероза, издавна считалось развитие плотной волокнистой соединительной ткани во внутренней оболочке артерий, ведущее к образованию в последней плотных утолщений — бляшек. В артериосклеротических бляшках очень часто бывает видно скопление массы жировых веществ, нередко с примесью извести. В таких случаях говорят о наличии атеромы и весь процесс называют атероматозом. Прорыв атероматозных масс в просвет артерий влечет за собой образование язв, часто с отложением тромбов на их поверхности.

Ввиду того, что новообразование соединительной ткани особенно характерно для воспалительных процессов, артериосклероз долгое время относили к проявлениям воспаления стенок артерий. Отсюда и название, данное Вирховым артериосклерозу, — «хронический деформирующий эндартериит».

Причисление артериосклероза к процессам воспалительной природы отразилось и на представлении о его этиологии. Как известно, воспалительные изменения обычно возникают при инфекционных или токсических воздействиях на ткани. Отсюда, естественно, получила широкое

распространение инфекционно-токсическая теория происхождения артериосклероза.

С другой стороны, артериосклероз настолько часто встречается в пожилом возрасте, что казалось возможным объяснить его развитие постоянно действующими на артерии в течение жизни естественными механическими, гемодинамическими влияниями. Отсюда возникло представление об артериосклерозе, выдвинутое главным образом Тома́, как о выражении старческого «изнашивания» артерий. Развитие соединительной ткани во внутренней оболочке, характерное для артериосклероза, стали рассматривать как процесс компенсаторный, уравновешивающий ослабление средней оболочки, наступающее с возрастом в силу «изнашивания».

Обе приведенные сейчас главные теории развития артериосклероза — инфекционно-токсическая и механическая — сходны между собой в том отношении, что первичным, ведущим процессом при артериосклерозе они признавали соединительнотканное («склеротическое») утолщение внутренней оболочки артерий. Появление в последней атероматозных очагов считалось явлением вторичным, а жировые вещества, накопляющиеся в этих очагах, рассматривались как продукты распада внутренней оболочки.

Такой взгляд оставался общепринятым в течение нескольких десятилетий, однако постепенно, уже в начале нынешнего столетия, возникли некоторые сомнения в его правильности. Более точные гистологические исследования показали, что отложение жировых веществ во внутренней оболочке артерий встречается уже в ранних стадиях артериосклероза и не менее характерно для него, чем развитие соединительной ткани; отсюда возникло и новое название, предложенное Маршаном для артериосклероза, — *атеросклероз артерий* (от греч. слова ἀθερή — кашицеобразное вещество).

Далее, в связи с развитием учения о липоидных веществах (липидах), в частности после исследований о морфологии отложений этих веществ в тканях, выяснилось, что жировые вещества, накопляющиеся в стенках артерий при атеросклерозе, относятся главным образом к холестерину и его соединениям — холестерин-эстерам. Этот факт был подтвержден также и химическими исследованиями стенок артерий, пораженных атеросклерозом.

Очень большую роль в развитии дальнейших представлений об атеросклерозе сыграли экспериментальные исследования наших отечественных авторов. Игнатовский в 1910 г. заметил, что у кроликов после кормления белковой пищей возникают своеобразные изменения аорты. Последние были изучены Соболевым и Старокадомским, которые склонны были объяснять их происхождение токсическим действием белковых веществ. Однако вскоре Стуккей показал, что рассматриваемые изменения очень сходны с атеросклерозом и возникают только при кормлении кроликов желтками куриных яиц, а не белковыми веществами. Вслед затем Веселкин поставил опыты с кормлением кроликов лецитином и пришел к выводу, что это вещество, входящее, наряду с холестерином, в состав куриных желтков, не вызывает изменений в артериях. На основании полученных результатов можно было предположить, что веществом, вызывающим изменения артерий у кроликов, сходные с атеросклерозом человека, и является холестерин. Такое предположение было тем более вероятно, что Халатов, исследуя печень кроликов, кормленных желтками, находил в ней обильные отложения холестерина в виде анизотропных жидких кристаллов.

Наконец, в 1912 г. мною, совместно с Халатовым, впервые были поставлены опыты с кормлением кроликов чистым холестерином, растворенным в подсолнечном масле, причем удалось получить такие же изменения артерий, какие наблюдались у животных, кормленных яичными желтками. Результаты этих опытов легли в основу новых взглядов на природу и происхождение атеросклероза, развитых затем как в эксперименте, так и на человеке коллективом исследователей, работавших главным образом в Отделе патологической анатомии Института экспериментальной медицины в Ленинграде.

Экспериментальные исследования позволили нам проследить все стадии развития атеросклеротических изменений в том виде, как они наблюдаются у кролика после кормления холестерином. Оказалось, что изменения начинаются всегда с отложения во внутреннем слое аорты липидов с большим содержанием холестерина, накопляющихся в промежуточном веществе, куда они проникают с плазмой крови из просвета сосудов. Плазма крови у кроликов, кормленных холестерином, содержит огромные количества этого вещества, иногда превосходящие норму в несколько раз.

Вместе с тем было доказано, что питание внутренних бессосудистых слоев стенок артерий происходит путем имбибиции лимфой, проникающей из их просвета внутрь стенок (И. Р. Петров, Окунев, Глазунов). Естественно, что при большом содержании в крови холестерина он проникает вместе с питающей лимфой в стенку артерий, прежде всего в ее внутренние слои. Здесь, в промежуточном веществе, по которому идет проникание питающей лимфы, и происходит осаждение липидов (главным образом холестерина и его эстеров). Таким образом, атеросклероз следует рассматривать как инфильтративный процесс, связанный своим возникновением с особенностями питания внутренних слоев стенок артерий.

Попадание липидов с большим содержанием холестерина во внутренние слои стенок артерий вызывает здесь развитие хронического реактивного процесса. Вначале появляются крупные клетки-макрофаги, поглощающие липиды и накопляющие их в протоплазме в виде мелких двоякопреломляющих капелек; вскоре же начинается новообразование эластических и коллагеновых волокон, преимущественно на участках между скоплениями липидов и просветом артерий. Таким образом и возникают атеросклеротические бляшки на внутренней оболочке артерий.

Приведенные экспериментальные данные позволили, в противоположность классическим представлениям, высказать взгляд, что атеросклероз начинается не с развития соединительной ткани, а с отложения липидов в стенке артерий. Последний процесс должен считаться первичным, а развитие соединительной ткани — вторичным реактивным явлением. Однако взгляды на развитие процесса, основанные на экспериментальных данных, естественно, нельзя было без дальнейших исследований приложить к атеросклерозу человека. Для этого потребовались многие годы систематической работы на материале склеротически измененных артерий человека.

Вместе с тем необходимо было рассмотреть еще и все те патологические изменения артерий, которые прежде довольно искусственно объединялись под названием артериосклероза. Так, в литературе мы встречаем данные, позволявшие считать артериосклероз собирательным понятием, в котором на основании внешних признаков объединены совершенно различные процессы (в том числе и атеросклероз). Но все же оставалось неясным, должны ли быть соединены в одну группу вместе с атеросклеро-

зом такие поражения, как, например, первичное отложение извести в стенках артерий и гиалиноз мелких артерий. Наконец, совершенно неясной оставалась связь между артериосклерозом и старческими изменениями артерий.

В целом ряде исследований удалось установить, что возрастные изменения артерий представляют совершенно определенную группу процессов, закономерно развивающихся с возрастом не только у человека, но и у многих животных, причем эти изменения совершенно отличны от собственно атеросклероза (работы К. Г. Волковой, В. М. Гаккеля, М. И. Гессе, И. Е. Левина). Нередко бывает, что возрастные (старческие) изменения выступают в артериях очень резко, между тем как атеросклероз или отсутствует, или выражен лишь в слабой степени. Точно так же удалось провести резкую грань между собственно атеросклеротическими изменениями артерий и такими патологическими поражениями, как первичное отложение извести в средней оболочке и гиалиноз артерий (работы А. К. Наконечной, Л. А. Лоцман, М. И. Гессе, К. Г. Волковой). Хотя очень часто все эти изменения одновременно встречаются в артериях, однако они должны быть отделены друг от друга и по морфологическим признакам, и по развитию, а также по характеру веществ, появляющихся при них в стенках артерий. В частности, для атеросклероза особенно характерно первичное отложение липидов, с преобладанием холестерина, во внутренней оболочке артерий. Поэтому наиболее правильное название для атеросклероза было бы «липосклероз».

Для выяснения сущности атеросклероза у человека сотрудниками Отдела патологической анатомии ИЭМ весь процесс был прослежен в развитии, начиная с самых ранних стадий, причем сначала были изучены нормальное строение и возрастные изменения каждой исследуемой артерии, чтобы избежать смешения их с проявлениями патологических процессов. Существенное значение имело систематическое исследование возможно большего количества разных артерий, чтобы доказать принципиальное тождество атеросклеротических изменений во всей артериальной системе. Главное внимание при этом, естественно, было посвящено изучению тех артерий, поражение которых имеет наибольшее значение для клиники (венечные артерии сердца, артерии головного мозга). Наконец, были произведены и сравнительно-патологические исследования для получения хотя бы ориентировочных сведений о распространении

и особенностях атеросклероза у некоторых представителей высших млекопитающих и птиц (работы В. Д. Цинзерлинга, К. Г. Волковой).

Исследование развития атеросклероза по возрастам на большом анатомическом материале показало, что самые ранние изменения наблюдаются уже в детстве и выражаются появлением во внутренней оболочке аорты мелких пятнышек и полосок желтоватого цвета, состоящих из отложения липидов с большим содержанием холестерина (В. Д. Цинзерлинг, А. А. Соловьев, Н. Н. Кубе). Эти отложения обнаруживают характерное распределение на внутренней поверхности аорты в связи с гемодинамическими влияниями.

В дальнейшем отложения липидов частью увеличиваются в размерах и в количестве, частью остаются более или менее стационарными или подвергаются обратному развитию. Вокруг отложений липидов накапливаются крупные фагоцитирующие клетки, что и служит одним из признаков рассасывания таких отложений. Интересно, что отложения липидов в раннем возрасте удается получать в аорте также и у кроликов, если кормящим их самкам искусственно вводить через желудок большие количества холестерина (А. А. Соловьев). Повидимому, и у человека появление холестериновых отложений в аорте в детском возрасте обусловлено значительным поступлением этого вещества с молочной пищей при недостаточно еще установившемся обмене веществ в организме.

В возрасте около 20 лет или несколько позже в крупных артериях, прежде всего в аорте, вновь появляются липидные отложения, с совершенно типичной локализацией. Распространение процесса во всех артериях идет по направлению от центра к периферии. Морфология липидных отложений в более поздних возрастах в общем такая же, как и у детей, однако часто такие отложения остаются на долгое время и прогрессивно увеличиваются. При повозрастном изучении артерий (работы В. Д. Цинзерлинга, К. Г. Волковой, М. И. Гессе, М. А. Захарьевской) удается проследить, что на периферии отложений появляются в разном количестве крупные фагоцитирующие клетки, поглощающие липиды, и наряду с этим происходит развитие эластических и коллагеновых волокон, особенно резко выраженное над скоплениями липидов, как бы изолирующее их от просвета сосудов.

Таким образом, удалось показать на большом материале и для многих артерий, что развитие атеросклероза всюду происходит одинаково и что

первичным, ведущим моментом всегда является отложение липидов с большим содержанием холестерина в стенках артерий.

Сравнительное изучение различных артериальных стволов показало, что развитие атеросклероза начинается в них в разных возрастах, например в аорте — очень рано, в венечных артериях — в возрасте около 20 лет, в мозговых артериях — только около 30 лет. Далее удалось выяснить, что наиболее рано поражаемые артерии в дальнейшем обнаруживают иногда сравнительно слабую степень развития процесса, между тем как поражаемые более поздно (например, брюшная аорта или мозговые артерии) нередко в пожилом возрасте оказываются особенно резко измененными.

Поражение артерий атеросклерозом в каждой артериальной системе идет всегда от центра к периферии, т. е. прежде всего поражаются главные стволы данной системы, и отсюда процесс постепенно распространяется на их ветви. Однако отдельные артериальные системы поражаются атеросклерозом очень по-разному: как правило, наблюдается резкое поражение артерий нижних конечностей и очень слабое верхних. Наконец, даже одни и те же артерии у разных лиц (примерно, одинакового возраста) нередко обнаруживают весьма различную степень изменений у одного субъекта имеется преимущественное поражение венечных артерий сердца, у другого — артерий головного мозга и т. д.

Упомянутые сейчас особенности развития атеросклероза мне удалось обнаружить также при изучении данных о большом секционном материале, собранном в разных городах Европы и Америки с целью выяснения вопроса о распространении атеросклеротических изменений артерий (см. доклад на Международной конференции в Утрехте в 1934 г.).

Наряду с исследованиями о распространении атеросклероза в артериальной системе производилось также более углубленное морфологическое изучение разных стадий развития заболевания в отдельных артериях. При этом удалось выяснить, что атеросклеротические изменения могут в своем развитии или прогрессивно нарастать, или, достигнув определенной стадии, оставаться более или менее стационарными, или, наконец, подвергаться обратному развитию (В. Д. Цинзерлинг) путем рассасывания липидных отложений из внутренней оболочки артерий. Установление этого факта имеет большое значение, так как показывает, что атеросклеротические изменения являются в известной мере обратимыми, остав-

ляя после себя соединительнотканные утолщения внутренней оболочки лишь с остатками отложений холестерина. Вместе с тем В. Д. Цинзерлингом были указаны и основные морфологические признаки, свидетельствующие об остановке процесса и его обратном развитии.

Установление возможности обратного развития атеросклеротических изменений имеет существенное значение и для клиники, так как создает предпосылки для выработки терапевтических мероприятий. В дальнейшем удалось установить, что вслед за остановкой атеросклеротического процесса возможно образование новых отложений липидов в тех же участках артерий и переход процесса в новый период прогрессивного развития (В. Д. Цинзерлинг). Словом, в ряде случаев процесс протекает в виде отдельных периодов затухания и обострения, причем каждый такой период оставляет после себя соответствующий след в морфологической картине атеросклеротических поражений.

Установление того факта, что основным, первичным моментом в развитии атеросклеротических изменений всегда является отложение богатых холестерином липидов в стенке артерий, приобрело важное значение для понимания патогенеза атеросклероза, так как выдвинуло вопрос о происхождении данных веществ. И анатомические, и экспериментальные данные показали, что эти вещества не образуются, как утверждали старые авторы, на месте, в стенках артерий, в качестве продуктов распада (дегенерации), а приносятся с лимфой, питающей внутреннюю оболочку, и откладываются в последней. Таким образом, вместо прежних взглядов на атеросклероз как на дегенеративный процесс, было выдвинуто представление о его *инфильтративной* природе (инфильтрация стенок артерий липидами с преобладанием холестерина).

Установление нового взгляда на атеросклероз как на инфильтративный процесс имело существенное значение и для понимания дальнейших особенностей его патогенеза. В ряде исследований удалось показать, что отложения липидов при атеросклерозе, особенно в резко выраженных случаях, появляются не только в стенках артерий, но также и в других тканевых структурах. Так было изучено отложение липидов в оболочках глазного яблока (А. А. Колен), преимущественно в склере и роговице, в клапанах сердца (А. М. Троицкая-Андреева), в сухожилиях (Ф. М. Халецкая), в фиброзной капсуле селезенки (А. М. Васильев). Указанные образования состоят из плотной фиброзно-эластической ткани,

т. е. построены до некоторой степени сходно с артериями, и по способу питания в известной мере аналогичны бессосудистой внутренней оболочке артерий.

Таким образом, атеросклероз с этой точки зрения удалось определить как *процесс системной липидной инфильтрации плотных волокнистых структур организма.* Разница между отложением липидов в артериях и накоплением их в других местах организма, например в клапанах сердца и сухожилиях, заключается главным образом в том, что реактивные явления, особенно развитие соединительной ткани, выражены почти только в артериях.

Параллельно с изучением атеросклероза у человека нами производились все время и экспериментальные исследования. По ходу их удалось выяснить прежде всего некоторые особенности распределения атеросклеротических изменений в артериальной системе у кролика. Так, были изучены изменения системы венечных артерий сердца, которые поражаются у этих животных при кормлении холестерином часто в очень резкой степени (К. Г. Волкова), в противоположность артериям головного мозга; последние никогда не обнаруживают в эксперименте атеросклеротических изменений. Еще прежде мною были изучены экспериментально вызванные атеросклеротические поражения клапанов сердца у кролика. Исследования были проведены также по поводу отложения липидов в оболочках глаза при экспериментальном атеросклерозе (А. А. Колен). Многие из этих исследований сопровождались одновременным определением содержания холестерина в крови, причем в общем обнаружился параллелизм между степенью гиперхолестеринемии и степенью развития атеросклеротических изменений.

Далее мною был проведен ряд экспериментальных исследований с целью сблизить картину атеросклеротических изменений, получаемых у животных, с соответствующим поражением артерий у человека. Главный недостаток экспериментальных исследований об атеросклерозе заключался, несомненно, в том, что получение атеросклеротических изменений было связано с введением в организм огромных количеств холестерина, чего у человека, конечно, не происходит.

Дальнейшие наши исследования показали, однако, что можно добиться развития атеросклеротических изменений у кроликов и в том случае, если вводить им ежедневно очень малое количество холестерина,

но если зато весь период опыта растянуть на очень долгий срок (до 2 и более лет); в этих случаях не возникает сколько-нибудь резкой гиперхолестеринемии и не наблюдается отложения холестерина во внутренних органах.

Точно так же удается получить развитие атеросклеротических изменений, вводя животным долгое время вещества, содержащие лишь небольшие количества холестерина, например ланолин.

Таким образом, в условиях эксперимента можно достичь изолированного поражения артерий, вполне сходного с атеросклерозом, без наличия одновременного, сколько-нибудь резко выраженного повышения содержания холестерина в крови.

В эксперименте нам удалось получить также и разные стадии обратного развития атеросклеротических изменений. Для этого кролики сначала (в течение нескольких месяцев) получали холестерин, а затем долгое время (до $2^1/_2$ лет) оставались на обычной пище, без введения холестерина. У таких животных образовавшиеся первоначально в стенках артерий значительные отложения липидов подвергались затем рассасыванию, и в результате удавалось получать атеросклеротические бляшки, не содержавшие липидов или содержавшие их лишь в виде незначительных остатков, иногда наряду с вторичными отложениями извести.

В результате этих опытов отпало одно из существенных возражений против возможности использовать наши экспериментальные данные для изучения атеросклероза у человека. В экспериментально полученных атеросклеротических бляшках мы имели в наших первых опытах обильные отложения липидов и лишь небольшое развитие склеротической ткани, в противоположность тому, что часто наблюдается у человека. Это различие зависело главным образом от того, что атеросклеротические бляшки у человека часто наблюдаются в периоде обратного развития липидных отложений. Получение соответствующих стадий у кролика позволило еще теснее сблизить морфологическую картину экспериментального атеросклероза с картиной атеросклеротических изменений у человека.

Результаты наших исследований позволили выдвинуть важную роль холестериновой инфильтрации стенок артерий как первичного ведущего момента в развитии атеросклероза. Химические определения содержания холестерина в крови и в стенках артерий в этих опытах также ука-

зали на преобладающее значение холестерина в химизме атеросклеротических поражений (В. В. Татарский, А. И. Левин и др.). В этом отношении и у нас, и особенно у американских авторов собраны многочисленные, вполне однородные данные.

Отсюда могло возникнуть представление, что только первичному нарушению холестеринового обмена в организме принадлежит исключительная роль в патогенезе атеросклероза. Такая точка зрения неоднократно выдвигалась в литературе, причем развитие атеросклероза сводилось к проявлению «холестериновой болезни». Однако в этих высказываниях упускался один весьма важный момент, имеющий также существенное значение в происхождении атеросклероза. Уже изучение топографического распределения атеросклеротических поражений в артериальной системе дает ясные указания на то, что их возникновение в значительной мере связано с механическими (гемодинамическими) условиями.

Другие наблюдения также говорят в пользу этого взгляда. В системе легочной артерии обычно встречаются лишь очень слабые проявления атеросклероза, между тем в случаях повышения давления в малом кругу, например при пороках сердца, легочная артерия и ее ветви часто обнаруживают резкие атеросклеротические изменения. При врожденном стенозе аорты в части сосуда, проксимально от места стеноза, обычно очень рано и в резкой степени развиваются атеросклеротические изменения, между тем как в дистальной части их не бывает. Особенно показательны также случаи раннего и резкого развития атеросклероза при гипертонии, возникающей иногда уже в молодом возрасте вследствие поражения почек.

Как показывают и клинические, и патолого-анатомические наблюдения, атеросклероз является постоянным следствием длительной гипертонии. Экспериментальные данные также подтверждают важное значение повышенного кровяного давления в происхождении атеросклеротических изменений. Сюда относятся результаты моих прежних опытов с перевязкой аорты или с введением адреналина одновременно с кормлением кроликов холестерином.

Все приведенные сейчас данные позволяют даже поставить вопрос о том, которое из рассматриваемых патологических нарушений — гипертония или нарушение холестеринового обмена — более существенно

в патогенезе атеросклероза. Несомненно, бывают случаи резкого развития атеросклероза, особенно, например, при гипотиреозах или при сахарном диабете, когда повышения кровяного давления не имеется. Конечно, гипертония не играет роли и в происхождении начальных отложений липидов в аорте, столь частых в детском возрасте. Наконец, следует подчеркнуть также, что при системных внесосудистых отложениях липидов, наблюдающихся во многих случаях атеросклероза (см. выше), метаболический фактор, несомненно, выступает на первое место.

Однако во многих случаях атеросклероза мы не имеем в сущности никаких оснований считать сколько-нибудь выраженным первичное нарушение холестеринового обмена, хотя, как известно, этот вид обмена, особенно в пожилом возрасте, довольно неустойчив, и отдельные повышения содержания холестерина в крови имеют место. Однако отсюда еще далеко до признания в таких случаях первичного патологического нарушения холестеринового обмена как ведущего фактора в патогенезе атеросклероза. Подобные случаи обычно характеризуются длительной гипертонией, и в них механический фактор (гипертония) имеет в патогенезе атеросклероза преобладающее значение, способствуя резкому развитию отложений холестерина в стенках артерий. Повидимому, наиболее неблагоприятно складываются обстоятельства в том случае, если одновременно наблюдаются и нарушения холестеринового обмена, и гипертония. Можно предполагать, что именно в этих случаях атеросклероз развивается особенно быстро и приобретает прогрессирующее течение.

Приведенная сейчас точка зрения была выдвинута мною на основании экспериментальных данных уже около 30 лет назад и получила название «комбинационной теории» атеросклероза. Позднейшие экспериментальные, патолого-анатомические и клинические (клиника Г. Ф. Ланга) наблюдения позволили подтвердить правильность этой теории. Что касается нарушения холестеринового обмена, имеющего столь важное значение в патогенезе атеросклероза, то это понятие надо, мне кажется, толковать очень широко. Здесь могут иметь место как количественные сдвиги — повышение содержания этого вещества в соках организма, так и различные качественные изменения, например изменение соотношений холестерина с другими липидами, а также с белками плазмы. Речь может итти не только о повышении содержания холестерина в крови и лимфе, но и о большей или меньшей стойкости холестеринового

эмульсоида. Все эти вопросы нуждаются, несомненно, в дальнейшей разработке.

Результаты исследований, вкратце приведенных в настоящей статье, легли в основу новых взглядов на атеросклероз также и в клинике. Для клиники, мне кажется, особое значение представляет одно из главных выдвинутых нами положений, а именно, что *атеросклероз не есть выражение естественного, старческого изнашивания артерий, а особое заболевание их*, лишь достигающее в старости резкого развития, но начинающееся уже в гораздо более раннем возрасте.

Далее, для клинициста, конечно, особенно существенно выяснение тех патогенетических факторов, которые имеют главное значение в развитии атеросклероза. Поэтому выделение с точки зрения патогенеза двух разновидностей атеросклероза — «метаболической» и «гипертонической», мне кажется, должно обратить на себя большое внимание в клинике.

Для объяснения происхождения атеросклероза нередко, особенно в клинике, на первый план выдвигают различные инфекционно-токсические моменты, хотя этому противоречат как патолого-анатомические наблюдения, так и экспериментальные данные. Мне кажется, нельзя совершенно отрицать хотя бы косвенное, вспомогательное влияние различных инфекций и интоксикаций на развитие атеросклероза. Моменты этого рода могут, во-первых, вести к нарушению холестеринового обмена и тем самым способствовать возникновению атеросклеротических изменений. Во-вторых, инфекционно-токсические моменты могут, по-видимому, вести к первичным нарушениям стенок артерий, способствующим возникновению липидных отложений. Известно, например, что сифилитические изменения аорты в виде специфического мезаортита почти всегда влекут за собой в соответствующих участках возникновение атеросклеротических поражений. Экспериментальные данные также показывают, что отложения липидов в артериальных стенках особенно легко возникают на местах повреждения последних (опыты А. А. Соловьева).

Выяснение отдельных моментов в сложной патогенетической картине атеросклероза имеет существенное значение с точки зрения предотвращения и терапии этого заболевания. Особенно важным мне кажется обнаружение сотрудниками Отдела патологической анатомии ИЭМ некоторых веществ, оказывающих в эксперименте резко снижающее влияние на холестеринемию и на холестериновые отложения в артериях; к таким

77*

веществам относится главным образом гормон щитовидной железы (И. Б. Фридланд, В. В. Татарский, А. И. Левин, В. Д. Цинзерлинг).

Отсюда следует вывод, что выработка мероприятий по гормональной регуляции холестеринового обмена может приобрести существенное значение, особенно в случаях, относящихся к группе «метаболического» атеросклероза. В противоположность этому, в других случаях атеросклероза главное внимание клиники, несомненно, должно быть направлено на терапию и профилактику гипертонии как особо важного фактора, способствующего развитию атеросклеротических изменений.

Другой указанный выше момент, именно *возможность обратного развития холестериновых отложений*, также должен быть в полной мере учтен клиникой. Можно высказать пожелание, чтобы в каждом случае атеросклероза клиницист отдавал себе отчет в том, находится ли процесс в стадии прогрессивного развития или идет на убыль вследствие происходящего рассасывания холестериновых отложений.

Если в связи с военным временем интерес к атеросклерозу заметно уменьшился, то в послевоенном периоде он, несомненно, должен снова повыситься. Это диктуется главным образом учащением случаев гипертонической болезни, которая очень часто приводит к смертельному исходу не сама по себе, а только при развитии на ее почве вторичных атеросклеротических поражений, особенно в венечных артериях сердца, или своеобразных поражений мелких мозговых артерий, собственно не относящихся к атеросклерозу, но очень часто сочетающихся с ним (К. Г. Волкова).

Исследования, проводившиеся коллективом моих сотрудников в течение более 25 лет, охватили, как можно видеть, самые различные стороны вопроса о патологии и патогенезе атеросклероза. Вместе с тем они позволили выяснить ряд особенностей нормального строения артерий в разных возрастах и способствовали систематическому изучению патологии артериальной системы с разнообразными относящимися сюда нозологическими формами.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



Член-корреспондент АН СССР
В. В. Голубев

Н. Е. ЖУКОВСКИЙ И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ АЭРОМЕХАНИКА



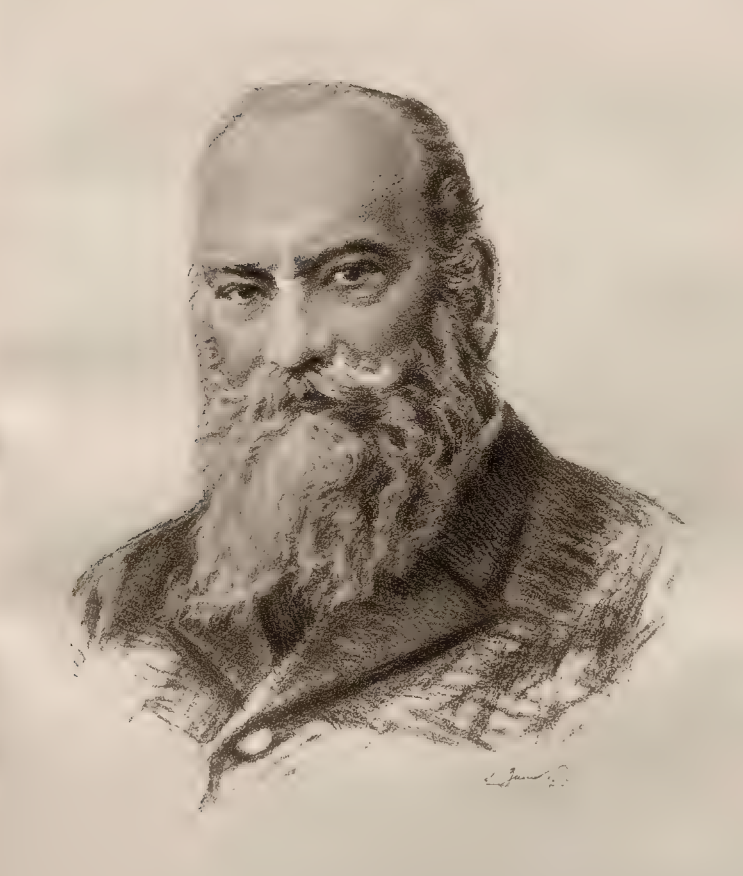
В самом начале текущего столетия были достигнуты первые существенные успехи в авиации. Конструкторам братьям Райт, Сантос-Дюмону, Фарману и другим удалось построить самолеты, на которых были совершены первые удачные, довольно продолжительные полеты. Это величайшее техническое достижение застало врасплох теоретическую аэромеханику: не было никаких данных, которые позволили бы применить теоретический расчет к проектированию самолетов так, как это делается во всех других инженерных расчетах. Теория в те годы не могла дать объяснения возникновению подъемной силы самолета, тяги его воздушных винтов; отсутствие каких-либо теоретических данных о распределении сил давления воздуха на обтекаемое крыло не позволяло достаточно ясно судить об устойчивости самолета во время полета и влекло за собою многочисленные аварии.[1] Первые конструкторы самолетов принуждены были разрешать конструктивные задачи наощупь, путем многочисленных проб, более или менее удачных опытов, при полном отсутствии каких-нибудь наводящих указаний со стороны теоретической гидро- или аэромеханики.

---

[1] О полной беспомощности тогдашней теории можно составить себе ясное представление, например, по статье: S. Finsterwalder. Aerodynamik. Encyclopedie der Math. Wissensch., Bd. IV, № 2, 1902.

За истекшие сорок лет сделан существенный прогресс в выяснении физической сущности явления полета, разработаны совершенно новые методы расчета, позволяющие проектировать современные самолеты с точностью, едва ли достижимою в каком-нибудь другом отделе инженерного искусства. Может быть, только в современной электротехнике теория занимает такое же ведущее место, как в современной авиации; теория здесь — действительно совершенно надежная и прочная основа во всяком проектировании.

Но самое удивительное в этом научном перевороте, происшедшем на наших глазах, то, что достигнут он вовсе не каким-нибудь особенно бурным развитием наших знаний в области теоретической механики и ее специальных отделов — гидро- и аэромеханики. Сорок лет тому назад были известны и хорошо изучены почти все разделы гидромеханики и аэромеханики, которыми мы пользуемся в настоящее время в вопросах авиации; во всяком случае истекшие годы внесли в наши теоретические знания довольно скромные дополнения. Лежащая в основе современной технической аэромеханики теория вихрей была подробно разработана Гельмгольцем еще в 70-х годах прошлого столетия; за все время, протекшее с тех пор, можно указать только на работы по вихревым дорожкам, вносящие нечто существенно новое в теорию. Теория струй, являющаяся одною из теоретических баз современной технической аэромеханики, также была разработана довольно подробно, вплоть до применяемого математического метода расчета, еще в 60—70-х годах прошлого столетия в трудах Кирхгофа, Гельмгольца, Релея и других ученых; дальнейшие успехи в этом направлении были настолько скромны, что ничего существенного не внесли. И сорок лет назад мы также не умели рассчитывать сил воздействия потока жидкости или газа на обтекаемое им тело — а ведь в решении этой задачи и состоит основа всей технической аэромеханики, — как не умеем это делать и в настоящее время. Чтобы в этом убедиться, достаточно просмотреть современные трактаты по гидродинамике; в них мы по существу ничего не найдем, кроме обтекания шара идеальною жидкостью и задачу Стокса об обтекании шара вязкою жидкостью, но это можно было найти во всех учебниках гидромеханики и сорок лет тому назад; мелкие обобщения и уточнения в этой области совершенно не дали ничего, открывающего хоть в какой-нибудь степени новые научные горизонты. Эффект Магнуса,



Н. Жуковский

теснейшим образом связанный с современной теорией подъемной силы самолета, был обстоятельно изучен Релеем [1]. Наиболее глубокая работа по газовой динамике, знаменитая докторская диссертация С. А. Чаплыгина «О газовых струях», была написана еще в 1903 г. и оставалась без всякого применения до 1935 г. Только в самые последние годы, благодаря трудам современных ученых, академика С. А. Христиановича и других, идеи С. А. Чаплыгина нашли применение в технических задачах современной авиации.

Таким образом, разительный успех развития современной технической аэромеханики был достигнут совсем не с помощью сколько-нибудь существенного развития теории и коренного ее преобразования, открывающего новые пути и возможности. Успех был достигнут в иной плоскости и, как мы увидим, Н. Е. Жуковскому, наряду с очень небольшим числом ученых, принадлежит исключительная заслуга — в известном смысле совершенно реформировать самую сущность механической теории.

В то время, когда создавалось научное мировоззрение Н. Е. Жуковского, т. е. в годы его учения и начала его научной деятельности, идеалом всякого научного исследования в механике был путь, указанный гениальным Лагранжем в его аналитической механике. Сущность этого пути состоит в следующем.

В механике есть общие «незыблемые» принципы, аксиомы механики, вполне достаточные для построения любой частной теории и для решения любого частного вопроса; кроме того, существует метод, позволяющий любую механическую задачу привести к задаче чисто математической, сводящейся в основном к интегрированию дифференциальных уравнений. Таким образом, всякая механическая задача в конце концов сводится к задаче чисто математической и, следовательно, включается в чистую математику. С этой точки зрения механика не нуждается ни в каких экспериментах, ни в каких лабораториях и наблюдениях; прогресс в интегрировании дифференциальных уравнений, прогресс в чистой математике одновременно есть прогресс и в механике, сполна определяющий ее развитие. Картинным перифразом всего этого являются крылатые слова Лапласа о том, что если дать начальное положение и скорости всех частиц, из которых состоит вселенная, то достаточно мощный ум может начертать по этим данным всю историю мира; очевидно, в концепции

Лапласа мощный ум представляет собою просто достаточно разработанную теорию дифференциальных уравнений.

Едва ли можно сомневаться, что эти концепции являются отражением в механике тех общих философских идей о великой роли «разума», которыми была проникнута эпоха буржуазной французской революции XVIII века. Не забудем, что в те годы в «Критике чистого разума» Кант своими идеями о природе пространства и времени пытался создать априорную и абсолютную базу для механики Ньютона, освободив от случайного влияния физического опыта ее основные понятия, понятия об абсолютном пространстве и абсолютном времени. На другом полюсе, уже не в области науки, а в области политики, из «разума» пытались вывести классовые отношения и структуру общества, возникшие в результате французской революции, и даже насаждали культ «разума».

Блестящий успех, достигнутый применением идей Лагранжа учеными начала прошлого столетия в небесной механике и в математической физике, казалось, поставил вне сомнения правильность его концепций; идеалу Лагранжа следовали в своих классических трудах, на которых учился Жуковский, все ученые XIX века, начиная от Лапласа, Пуассона, Коши и кончая нашими знаменитыми соотечественниками — С. В. Ковалевской, А. М. Ляпуновым, В. А. Стекловым. Правда, на этом блестящем фоне были некоторые исключения, не укладывавшиеся в стройную схему Лагранжа. Гауссу пришлось при изучении вопроса о пертурбациях в небесной механике высказать соображение о целесообразности «размазывания» массы возмущающей планеты по всей ее орбите, а английским механикам Ранкину, Рэйнольдсу и другим пришлось прибегнуть к постановке опытов для решения вопросов, относящихся к механике, что уже явно отходило от классической схемы Лагранжа. Но до поры до времени и необходимость дополнительных гипотез и, тем более, необходимость эксперимента казались чем-то несущественным, и эти уклонения не принимались по-серьезному в расчет. Механика оставалась чисто теоретической, чисто математической дисциплиной.

Такое положение дела налагало на механику очень стеснительные ограничения. В самом деле, раз единственным методом механики есть математическое исследование в духе Лагранжа, то решенными задачами будут только те, в которых мы можем до конца проинтегрировать соответствующие им уравнения. Таким образом, метод решения сполна опре-

делял объем поставленных задач. Якоби в своих исследованиях по теории движения твердого тела пришел к полному решению задачи Эйлера не потому, что интересовался теорией гироскопа, а потому, что бросалась в глаза аналогия между уравнениями, которым удовлетворяют введенные им эллиптические функции sn u, cn u и dn u, и уравнениями движения твердого тела в случае Эйлера — Пуансо.[1] С. В. Ковалевская в своем классическом мемуаре «О движении твердого тела, имеющего неподвижную точку» рассматривала один особый случай движения твердого тела вовсе не потому, что он был нужен для каких-нибудь целей, а потому, что удалось найти математический метод, выделивший этот случай и позволивший до конца проинтегрировать полученные при этом уравнения. С. В. Ковалевской пришлось даже доказывать, что разобранный ею случай движения вообще можно осуществить в действительности.[2] А. М. Ляпунова в его классическом мемуаре «Об устойчивости движения» меньше всего интересует вопрос о приложении разработанного им метода к решению какой-нибудь реальной механической задачи; в своем труде, занимающем 272 страницы, он даже не рассматривает ни одной механической задачи; все его внимание привлекают чисто математические трудности задачи, которые он и преодолевает с исключительным искусством.

Между тем механика есть наука о движении тел, и еще со времен Галлилея и Ньютона целью ее было изучение действительных движений, имеющих место в окружающем нас мире. Ограничения, налагаемые методом, являлись весьма неприятными для науки, если не становиться на точку зрения крайнего идеализма, как это сделал, например, Якоби, который в ответ на замечание Фурье о важности изучения уравнений математической физики, нужных для приложений, с раздражением

---

[1] Уравнения Эйлера

$$\frac{dp}{dt} + (C - B)\,qr = 0$$

$$\frac{dq}{dt} + (A - C)\,pr = 0$$

$$\frac{dr}{dt} + (B - A)\,pq = 0$$

Уравнения для функций Якоби

$$\frac{d\,(\operatorname{sn} u)}{du} - \operatorname{cn} u \operatorname{dn} u = 0$$

$$\frac{d\,(\operatorname{cn} u)}{du} + \operatorname{sn} u \operatorname{dn} u = 0$$

$$\frac{d\,(\operatorname{dn} u)}{du} + k^2 \operatorname{sn} u \operatorname{cn} u = 0$$

[2] «Движение твердого тела вокруг неподвижной точки». Сборник. Изд. АН СССР, 1940, стр. 46.

написал Лежандру, что Фурье должен был бы знать, что «единственною целью науки есть слава человеческого ума».[1]

Чтобы понять, какую позицию занимал в этих вопросах Н. Е. Жуковский, надо вспомнить несколько фактов из его биографии. По окончании университета Н. Е. Жуковский вовсе не собирался посвятить себя научной деятельности. Он стремился быть инженером. Когда ему не удалось наладить свою инженерную подготовку, он пытался стать изобретателем. Только после всех этих исканий он пришел, наконец, к деятельности ученого, профессора теоретической механики. Наклонности инженера и изобретателя весьма определенно сказываются во всей его дальнейшей деятельности. Если к этому добавить, что он был страстный любитель природы, охотник, садовод, то мы получим достаточно полный его облик. Это был менее всего кабинетный ученый и отвлеченный теоретик; это был по своим наклонностям инженер и естествоиспытатель. Для него утверждение Якоби было не только неприемлемым, но и совершенно непонятным. Для Жуковского целью науки было изучение окружающего нас мира, при этом изучение не с точки зрения пассивного созерцания гармонии мира, а с точки зрения инженера: познания мира для того, чтобы заставить служить законы и силы природы целям, намечаемым развитием человечества. Подход к научным проблемам с точки зрения естествоиспытателя и инженера сейчас же сказался и в выборе тем и в выборе методов исследования, особенно ярко — в его многочисленных работах по вопросам аэродинамики и авиации.

В настоящее время трудно установить, когда Жуковский стал серьезно с точки зрения теоретической механики интересоваться вопросами авиации, теорией полета. Возможно, что эти интересы возникли у него еще в те годы, когда он работал над своею магистерской диссертацией (1876) и изучал работы в этой области классиков науки. На эту мысль наводит то, что эпиграфом к курсу «Теоретические вопросы воздухоплавания», написанному им уже в конце своей научной деятельности, в 1910 г., Жуковский поставил замечание Гельмгольца, взятое им из его работы по тео-

[1] «Il est vrai que M. Fourier avait l'opinion que le but principal des mathématiques était l'utilité publique et l'explication des phénomènes naturels; mais un philosophe comme lui aurait dû savoir que le but unique de la science c'est l'honneur de l'esprit humain, et que sous ce titre, une question de nombres vaut autant qu'une question du système du monde» (J a c o b i. Gesammelte Werke, I. Письмо Лежандру 2/VII 1830 г.).

рии вихрей: «*Мне кажется, что в настоящее время нет никаких оснований не применять уравнения гидродинамики для точного выражения законов, управляющих действительными движениями жидкости*». Может быть, это замечание и привлекло внимание Жуковского к проблемам авиации не только как ученого-механика, но как естествоиспытателя и инженера. Во всяком случае здесь не могло быть непосредственного влияния Гельмгольца или Кирхгофа, которые, как теоретики, ближе всего стояли к этой задаче. В свою первую поездку за границу (1877) Жуковский не слушал лекций ни Гельмгольца, ни Кирхгофа, а его знакомство с французскими математиками и механиками, несомненно, сказалось в выборе темы его докторской диссертации «О прочности движения» (1882), т. е. отвлекло его внимание совершенно в иную область.

После смерти Жуковского среди его бумаг была найдена ненапечатанная рукопись его учителя профессора Ф. А. Слудского «Предположения по усовершенствованию воздухоплавания», относящаяся, повидимому, ко времени около 1880 г. В ней между прочим Ф. А. Слудский пишет:

«Приняв во внимание, что вопрос о воздухоплавании разрешен блестящим образом самою природою в летании птиц, нельзя не подивиться, что задача аэронавтики, несмотря на высокую степень развития механического искусства, все еще остается задачею, далеко не вполне решенною... Величину движущей силы мы определить теоретически не можем. Все относящиеся сюда вопросы должны быть решены практически».

К этому же времени относятся и первые опыты Жуковского по аэромеханике, которые он пытался ставить. По возвращении из-за границы осенью 1877 г. он приобрел велосипед, приспособил к нему большие крылья из бамбука, обтянутые парусиной, и, съезжая с пригорка, наблюдал влияние этих крыльев на сопротивление и подъемную силу. Таким образом, несомненно, что еще в конце 70-х годов Жуковский размышлял над вопросами аэромеханики. Во всяком случае с самого начала своей деятельности как профессора Московского университета (1885) он уже систематически работает над вопросами аэромеханики. В механическом кабинете Московского университета осталась большая коллекция воздушных змеев и различных заводных летающих игрушек, которые Жуковский собирал с самых первых лет работы в университете. Попутно с этим он много работал в эти годы в области гидромеханики; впоследствии эта работа принесла ему большую пользу как разносторонняя

и глубокая теоретическая подготовка к решению запутанных вопросов технической аэромеханики.

Занимаясь размышлением над задачами теории полета, Жуковский очень быстро убедился, что та блестящая общая схема механического исследования, которая была намечена Лагранжем, совершенно непригодна в решении вопросов, связанных с авиацией. Слишком далеки были основные исходные уравнения движения вязкой жидкости от конкретных условий механической задачи; эту пропасть приходилось заполнять не теорией, которой не было, а имевшимися в те годы достаточно многочисленными, но мало надежными экспериментальными данными. Жуковский тщательно изучает самый разнообразный материал, касавшийся полета птиц, различных более или менее неудачных проектов летательных машин, который печатался главным образом в популярной литературе и отчасти в технических журналах. Он заводит знакомство с изобретателями, занимавшимися изучением полета. С одним из первых конструкторов планеров — инженером О. Лилиенталем—Жуковский был близко знаком; он ездил к нему специально, чтобы посмотреть на его полеты, и даже получил в подарок от него экземпляр сконструированных им крыльев.[1] Кроме того, Жуковский систематически участвовал на различных съездах, посвященных воздухоплаванию.

К 1890 г. относится первая печатная работа Жуковского — «К теории летания» [2]. Анализируя причины возникновения тяги в несжимаемой жидкости, он приходит к заключению, что этой причиной может быть или образование за телом поверхностей разрыва и схода струй, или трение. Указав далее на замечание Бриллюэна, что существование поверхности разрыва едва ли соответствует действительности, он заканчивает статью следующим замечанием:

«Мы думаем, что образование поверхностей раздела является только ближайшею, но не конечною причиною силы тяги. От образования этих поверхностей посредством трения жидкости развивается некоторое вихревое движение... Силы давления и трения этого движения о стенки сосуда и дают силу, равную и противоположную силе тяги».

В статье дается и описание построенного им прибора, с помощью которого он пытался подтвердить свои выводы. Статья чрезвычайно инте-

[1] Этот экземпляр крыльев находится в музее Жуковского в Москве.

ресна; в ней впервые появляются механические идеи, которыми проникнуто все дальнейшее его научное творчество в области авиации,— это роль вихревых движений и влияние вязкости воздуха. Мы увидим, как через 16 лет эти идеи приведут Жуковского к открытию его знаменитой теоремы о подъемной силе крыла. В связи с этой работой интересно отметить и тот факт, что уже тогда ему была совершенно ясна необходимость систематического лабораторного исследования, постановки опытов, построения необходимых моделей и т. п. Это внесение в область теоретической механики, наряду с математическим методом, и лабораторного, экспериментального метода исследования, столь необычное для теоретика, профессора «прикладной математики» университета, будет им далее систематически применяться. В его руках механика превратится в науку, очень близко подходящую к естественным наукам.

В последующие годы Жуковский написал еще несколько работ, посвященных вопросам авиации. Пользуясь имевшимися в литературе экспериментальными данными и применяя теорию струй, он разбирал в них некоторые вопросы, связанные с теорией работы пропеллеров, и вопросы теории полета. Одна из этих работ «О парении птиц» [3, стр. 7], написанная в 1892 г., была одною из первых работ по динамике полета; она является в этой области и в настоящее время одним из основных исследований. В этой работе, между прочим, Жуковский указывает на возможность полета с образованием «мертвой петли». Это теоретическое предсказание было через 21 год (в 1913 г.) осуществлено русским летчиком капитаном Нестеровым.

С 1893 г. Жуковский включился в работу воздухоплавательного отдела Русского технического общества, организованного еще в 1880 г. По просьбе отдела, Жуковский написал разбор работы Д. К. Чернова «О наступлении возможности механического воздухоплавания». Отзыв Жуковского интересен тем, что из него видно, как хорошо он был знаком со всеми тогдашними исследованиями по воздухоплаванию — с работами Ланглея, Лилиенталя, Харграфа, Вельнера, Филипса и других.

За этот период мы напрасно стали бы искать крупных научных исследований по проблемам авиации; их почти не было. Но тем более оживленно работали многочисленные инженеры и изобретатели; ими велись разнообразные экспериментальные работы, разрабатывалась техника экспериментирования, конструировались летающие машины.

Работы — по большей части неудачные, но они давали необходимый опыт.

Н. Е. Жуковскому принадлежит заслуга постройки в 1902 г. в механическом кабинете Московского университета одной из первых в мире аэродинамических труб, или, как он называл ее сам, «галлереи для искусственного потока воздуха». Через два года (в 1904 г.) под Москвою, в Кучине, была построена первая в России аэродинамическая лаборатория. Была создана достаточно прочная экспериментальная база по авиации. Сам Жуковский вел здесь работу главным образом по теории пропеллеров и по разработке проектов летательных машин типа геликоптеров или современных автожиров.

В серьезных научных, академических кругах такие изыскания в то время не вызывали особого одобрения. Отсутствие хоть каких-нибудь теоретических путей для решения основных задач теории полета, с одной стороны, и неудачи многочисленных попыток изобретателей сконструировать летающие машины — с другой, делали вопрос о разработке теории полета не актуальным технически и почти безнадежным с точки зрения теории. Разработка теории винтов казалась здесь единственно актуальной задачей в виду применения их в дирижаблях, которые не без успеха конструировали в то время различные изобретатели.

Все изменилось, когда братья Райт, Сантос-Дюмон, Фарман и другие построили первые летающие самолеты. Оказалось, что техника вплотную подошла к полному разрешению задачи о механическом полете на аппаратах, более тяжелых, чем воздух. Очередь была за теорией, так как было ясно, что без надлежащей теоретической базы совершенно невозможен и дальнейший технический прогресс.

Первый, естественно возникавший вопрос, был вопрос о том, каким образом образуется подъемная сила, действующая на крыло летящего самолета. Вопрос этот в те годы был совершенно не ясен; был только собран достаточно обильный экспериментальный материал. Например, Лилиенталь на основании ряда тщательно поставленных опытов показал, что изогнутость поставленной наклонно к направлению потока пластинки при надлежащем расположении увеличивает подъемную силу, что в общем подъемная сила пропорциональна первой степени синуса угла атаки (знаменитый в свое время «закон синуса»), и т. п. Никакого теоретического объяснения всему этому в то время не было.

Таким образом, первые успехи авиации ставили перед теоретической механикой сложную теоретическую задачу, а запросы техники требовали ее немедленного решения, не дожидаясь того момента, когда общий прогресс в развитии методов теории позволит решить и основные проблемы авиации. Здесь, может быть, впервые в истории науки теоретическая механика получала от техники задание, касавшееся не частных вопросов уже существующих общих теорий, а затрагивавшее принципиально новый, основной вопрос науки, который оказался совершенно не разработанным.

По существу это был коренной переворот в развитии современной теоретической механики: развитие общей теории направлялось развитием и потребностями техники. И в решении этой задачи пришлось итти методами, совершенно отличными от схемы Лагранжа. Во-первых, надо было дать решение немедленно, хотя бы и приближенное, но вполне достаточное для запросов механики, во-вторых, ввиду явной недостаточности при современном положении теории чисто аксиоматического, математического пути решения надо было привлечь широко поставленный эксперимент.

Итак, механика по своим задачам из абстрактной математической дисциплины превращалась в дисциплину прикладную, самым тесным образом связанную с потребностями практической жизни, современной техники, определяющей ее развитие; по методу исследования она превращалась из абстрактной дисциплины в дисциплину естественнонаучную, требующую для своего развития, наряду с чисто математическими методами, и широкого лабораторного экспериментального исследования. Жуковский прекрасно понимал эти обе особенности современного развития механики. В своей статье «О падении в воздухе легких продолговатых тел, вращающихся около своей продольной оси» [3, стр. 100], написанной в 1906 г., он поставил эпиграфом следующие слова Д. И. Менделеева, взятые из его статьи «О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании»:

«Нужен, настоятелен и будет решать дело — разумный и твердый опыт, а молодое и неопытное умственное построение пойдет на поводу и в ту и в другую сторону, пока, приученное опытом к верной дороге, само не станет возить за собой или на себе всю сущность опытного знания».

И далее, в начале своей статьи, Жуковский так говорит по поводу слов Д. И. Менделеева:

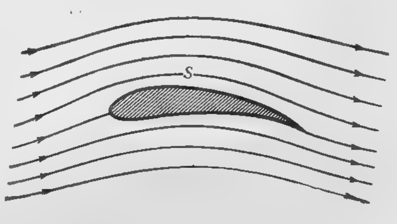
«Они очень правильно характеризуют важность эксперимента в сложных теориях явлений гидродинамики. Кроме трудностей, которые представляет интегрирование дифференциальных уравнений движения жидкости при соблюдении всех условий данной задачи, не говоря уже о недостаточности наших знаний законов вязкости жидкости и трения о стенки, теоретику приходится еще иметь дело с затруднениями в выборе между различными, возможными при данных обстоятельствах течениями, которые характеризуются различными положениями критических точек, имеющих скорость, равную нулю, присутствием или отсутствием поверхности раздела, образованием области вихревого движения жидкости.

Опыт позволяет наблюдателю узнать характер изучаемого явления и облегчает мысли постановку правильного теоретического анализа задачи».

Своими трудами Н. Е. Жуковский чрезвычайно способствовал укреплению в широких кругах ученых этих идей, а вместе с тем и дальнейшему росту науки, дав ей исключительную целеустремленность по кругу решаемых ею задач и огромную мощь в применяемых ею методах исследования. В этом заключается огромная ценность его работ по проблемам теоретической аэродинамики для науки, далеко выходящая за узкие пределы решаемых им задач. Эти работы капитально изменяют самый облик теоретической механики.

Первым блестящим успехом Жуковского в разрешении задач современной технической аэромеханики было полное выяснение вопроса о происхождении подъемной силы самолета. Несомненно, что решение этого капитального вопроса явилось в результате очень длительной работы мысли. Еще в первом его мемуаре, посвященном вопросам авиации, в его работе 1890 г. «К теории летания», можно видеть путь, который вел его к решению этой задачи. Но, повидимому, только в 1904 г. ему стала ясна физическая схема явления. Как рассказывает академик Л. С. Лейбензон, Жуковский, возвращаясь с ним осенью 1904 г. в Москву из Кучина, где они наблюдали полеты воздушных змеев, сообщил ему, что для него механизм образования подъемной силы совершенно ясен. Это была знаменитая схема присоединенного вихря, заменяющего крыло. Однако потребовалось еще около двух лет, чтобы из этой физической схемы получить точную и полную математическую формулировку, позволившую впоследствии с огромным успехом применить ее к решению основных задач теории крыла и теории винта самолета.

Два обстоятельства чрезвычайно упростили решение этой труднейшей задачи. Во-первых, еще в 1903 г. в своей знаменитой докторской диссертации «О газовых струях» ученик Жуковского С. А. Чаплыгин строго доказал, что при скоростях течения, значительно меньших скорости звука, можно пренебречь сжимаемостью воздуха, т. е. заменить задачу об обтекании крыла газом задачею об обтекании крыла жидкостью. Переход от задачи аэродинамики к задаче гидродинамики чрезвычайно упрощал вопрос, так как вместо очень сложных уравнений, определяющих течение газа, он позволял применять гораздо более простые уравнения движения жидкости. Во-вторых, камнем преткновения во всех исследованиях о силах, действующих на погруженное в поток жидкости тело, было незнание того, что́ происходит сзади обтекаемого тела в сопровождающей его кильватерной струе. Для длинного крыла, поставленного под очень малым углом атаки, дело чрезвычайно упрощалось тем, что кильватерная зона, как показывали наблюдения, чрезвычайно узкая. Можно было поэтому вообще пренебречь этой областью течения и считать, что крылообразное тело обтекается потоком плавно, без образования за телом срыва струй и кильватерной зоны с очень неправильным течением жидкости. Однако здесь возникало одно принципиальное возражение: еще со времен Эйлера было известно, что при плавном обтекании тела потоком общая равнодействующая всех сил давления потока на обтекаемое тело равна нулю, откуда, казалось, нельзя получить подъемной силы и для длинного крыла, если пренебрегать влиянием его концов в случае плавного обтекания (парадокс Эйлера — Даламбера).



Фиг. 1.

В своем знаменитом мемуаре «О присоединенных вихрях» [3, стр. 48] Жуковский показал, что дело обстоит не так. Оказалось, что в этом случае мы имеем условия, когда рассуждения, приводящие к парадоксу Эйлера — Даламбера, не приложимы. Ему удалось выяснить обстоятельства, при которых получается сила, действующая на обтекаемое тело,

78*

и найти для нее классически простое и законченное выражение. С точки зрения применяемых в настоящее время теоретических методов этот замечательный результат может быть получен следующим образом.

Если не учитывать влияния концов крыла на обтекание его центральной части, то можно считать, что крыло находится в условиях плоско-параллельного течения. Представим себе некоторый контур S (фиг. 1), плавно обтекаемый установившимся потенциальным потоком идеальной несжимаемой жидкости в плоскости комплексного переменного $z = x + iy$. Предполагая, что вдали от тела поток течет со скоростью V, параллельною оси x, и обозначая через $w = f(z)$ комплексный потенциал течения, так что $f(z) = \varphi + i\psi$, где φ — потенциал скорости и ψ — функция тока, получим, разлагая заведомо однозначную, в силу определенности скорости в каждой точке поля течения, функцию $f'(z)$ в ряд Лорана в области бесконечно удаленной точки, следующее разложение:

$$f'(z) = V + \frac{A_1}{z} + \frac{A_2}{z^2} + \ldots \qquad (1)$$

Так как циркуляция скорости Γ по контуру, окружающему обтекаемый контур, выразится интегралом

$$\Gamma = \int f'(z)\,dz, \qquad (2)$$

то получим, что $\Gamma = 2\pi i A_1$, и, следовательно, разложение (1) принимает вид

$$f'(z) = V + \frac{\Gamma}{2\pi i}\frac{1}{z} + \frac{A_2}{z^2} + \ldots \qquad (3)$$

С другой стороны, существует формула (первая формула Чаплыгина — Блазиуса [(4), стр. 518]), позволяющая подсчитать компоненты давления потока на обтекаемый контур по функции $f(z)$ в виде

$$Y + iX = -\frac{\rho}{2}\int [f'(z)]\,dz,$$

где ρ — плотность жидкости.

Подставляя сюда разложение (3), получим

$$Y + iX = -\rho V\Gamma,$$

т. е.

$$Y = -\rho V\Gamma, \quad X = 0.$$

Эти формулы приводят к чрезвычайно важному результату: парадокс Эйлера — Даламбера при плавном обтекании, вообще говоря, не имеет места, так как *равнодействующая сил давления обращается в нуль только в том случае, когда или* $V = 0$, *т. е. нет течения, или* $\Gamma = 0$, *т. е. циркуляция скорости по замкнутому контуру, окружающему обтекаемое тело, равна нулю.* В случае же, если течение вне тела везде потенциальное, но циркуляция скорости по замкнутому контуру, окружающему обтекаемый контур, отлична от нуля, то на тело действует *сила, равная произведению плотности жидкости* ρ, *скорости потока вдали от тела* V *и циркуляции скорости* Γ; если учесть знак Γ, то из формулы (4) получим, что эта сила давления перпендикулярна к направлению скорости потока вдали от тела, и *ее направление получим поворотом скорости течения на прямой угол против направления циркуляции.*

Полученный здесь результат и составляет знаменитую теорему Жуковского о подъемной силе, являющуюся основой всех технических приложений. Чрезвычайная простота вывода этой теоремы не должна закрывать от нас того факта, что ее нахождение было делом совсем не таким простым, как это представляется в настоящее время. Надо помнить, что самое применение метода теории функций комплексного переменного в задачах плоской гидромеханики стало обычным, главным образом, благодаря огромному числу работ, выросших на почве исследований Жуковского; в частности формулы Чаплыгина — Блазиуса появились много позднее, и сам Жуковский получил свою теорему гораздо более длительным путем, не пользуясь комплексным переменным [3, стр. 48]. Но гораздо важнее другое. До работы Жуковского многим исследователям, работавшим в этой области, совершенно не приходило в голову, что из физической очевидности однозначности производной комплексного потенциала течения совершенно не следует однозначности самого комплексного потенциала. В случае, разобранном Н. Е. Жуковским, как видно из равенства (3),

$$f(z) = Vz + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z - \frac{A_2}{z} - \ldots$$

и, следовательно, потенциал $f(z)$ многозначен, как логарифм.

Н. Е. Жуковскому принадлежит заслуга введения в гидромеханику *течений, плавно обтекающих тело и с многозначным потенциалом.* В сущности вся теория крыла и составляет частный случай теории таких

течений, но она находит чрезвычайно важные приложения не только в теории крыла. Важность открытия Жуковского видна хотя бы из того, что в настоящее время нет учебника гидромеханики, в котором, наряду с такими классическими разделами гидромеханики, как теория вихрей, теория струй, теория волн, не входил бы как важнейшая ее часть и раздел, посвященный теории плавного обтекания тел с многозначным потенциалом, с которым в истории науки навсегда связано славное имя Н. Е. Жуковского.

Приведенный выше вывод теоремы Жуковского носит чисто формальный, аналитический характер. Более длинный вывод, примененный самим Жуковским, носит совершенно иной, наглядный, механический характер, который привел его к важнейшему вспомогательному понятию о *присоединенном вихре*. Если искать суммарный эффект потока, действующего на тело, то, очевидно, надо найти величину, направление и точку приложения равнодействующей сил давления потока. Теорема Жуковского или совершенно ей равносильная первая формула Чаплыгина — Блазиуса дают величину и направление равнодействующей; точку приложения ее, или, точнее, линию действия равнодействующей, можно найти из второй теоремы Чаплыгина — Блазиуса, которая определяет момент равнодействующей относительно начала координат следующим образом:

$$\text{Мом}_0 R = \text{действ. часть } \frac{\rho}{2}\int [f'(z)]^2 z dz. \tag{4}$$

По виду этой формулы ясно, что, если в нее подставить вместо $f'(z)$ ее разложение (3), то $\text{Мом}_0 R$ будет выражен некоторой формулой, в которую войдет только три первых коэффициента разложения, т. е. V, Γ и A_2. Отсюда следует, что если мы имеем два течения, обтекающие различные тела, но для которых первые три коэффициента разложения комплексного потенциала одинаковы, то суммарный эффект воздействия на них потока также окажется совершенно одинаковым.

Но легко написать комплексный потенциал течения, обтекающего *неподвижный, находящийся в потоке вихрь*. Для него комплексный потенциал имеет вид

$$f_1(z) = Vz + \frac{\Gamma}{2\pi i}\ln(z-\alpha), \tag{5}$$

где V — скорость потока вдали от вихря, Γ — его циркуляция и α — комплексное число, определяющее положение оси вихря. Так как из уравнения (5) имеем при больших $|z|$

$$f_1'(z) = V + \frac{\Gamma}{2\pi i}\frac{1}{z-\alpha} = V + \frac{\Gamma}{2\pi i}\frac{1}{z}\frac{\Gamma}{2\pi i}\frac{\alpha}{z^2} + \ldots, \tag{6}$$

то если выбрать α так, чтобы

$$\frac{\Gamma\alpha}{2\pi i} = A_2,$$

то, сравнивая разложения (3) и (6), видим, что при таком выборе A_2 разложения (3) и (6) имеют первые три члена одинаковыми.

Следовательно, при плавном обтекании какого-угодно тела можно найти такой вихрь, который, будучи поставлен в потоке, будет испытывать от потока такое же воздействие, как и рассматриваемое тело, т. е., например, в случае плавно обтекаемого крыла его всегда можно заменить одним вихрем. Такие вихри, в известном смысле *заменяющие обтекаемое потоком тело*, Жуковский называет *присоединенными вихрями тела*. Исходя из представления о наличии таких вихрей, Жуковский и доказал свою знаменитую теорему.

Нужна была большая смелость, чтобы оперировать такими вихрями, как это сделал Жуковский. Дело в том, что понятие присоединенного вихря противоречит механическому представлению о вихре, введенному в гидромеханику Гельмгольцем и ставшему классическим понятием современной гидромеханики. Вихрь Гельмгольца — это определенное состояние некоторой части текущей жидкости, уносимое с нею при ее течении; присоединенный вихрь Жуковского не связан с текущею жидкостью и остается неподвижным при ее течении. Конечно, можно избежать введения этих, с точки зрения Гельмгольца, фиктивных вихрей, заменив присоединенный вихрь также некоторым обтекаемым телом, но более простым, чем данное, например, плоской пластинкой или, как это сделал Чаплыгин, более гибкой схемой дугового крыла, которые он назвал изображающим дуговым крылом для данного крыла. Однако именно схема присоединенного вихря Жуковского оказалась самым совершенным в современной гидромеханике методом решения вопросов теории крыла.

На схеме присоединенного вихря построена вся современная теория крыла конечного размаха как в ее простейшей форме — в форме подково-

образного вихря в теории Прандтля [5], или в теории Чаплыгина [6, стр. 147], или в схеме более сложной, представляющей наложение подковообразных присоединенных вихрей, которая лежит в основе современной теории крыла Прандтля и Ланчестера,— так и в различных дальнейших ее осложнениях в работах Бленка и других [7, стр. 232 и др.], где присоединенные вихри заполняют всю поверхность или весь объем крыла. Та же схема присоединенного вихря является основою классических работ самого Жуковского по вихревой теории учебных винтов.

Мало того, различные попытки многих авторов обойти в работах по теории крыла схему присоединенного вихря и построить теорию на других основаниях, заимствованных из теории потенциала или из теории течений с различными особенностями на границе тела, несмотря на огромные усилия и на использование мощных средств современной математики, практически не привели ни к чему: вся теория крыла и вся теория винта в настоящий момент, как и сорок лет тому назад, зиждется на понятии о присоединенном вихре Жуковского.

Однако построить на теореме Жуковского и на идее о присоединенном вихре современную теорию крыла удалось Жуковскому не сразу. От появления в печати его мемуара «О присоединенных вихрях» до работ Жуковского и Чаплыгина, в которых идеи этого мемуара позволили до конца решить задачу о воздействии на крыло потока воздуха, прошло четыре года: только в 1910 г. в классических работах Чаплыгина «О давлении плоскопараллельного потока на преграждающие тела» и Жуковского «Определение давления плоскопараллельного потока жидкости на контур, который в пределе переходит в отрезок прямой» [8, стр. 258] была дана полная теория крыла в плоскопараллельном потоке.

Трудности, которые стояли на пути применения общей теоремы Жуковского к вычислению подъемной силы крыла, состояли в определении величины циркуляции Г вокруг крыла. В гидромеханике есть классический результат — теорема Лагранжа, дополненная позднее Томсоном,— состоящий в том, что в потоке идеальной жидкости циркуляция по замкнутому контуру не меняется во время течения. Таким образом, поток, в котором циркуляция по замкнутому контуру равна нулю, сохранит это свойство во все время течения. Отсюда следовало, что возникновение циркуляции, или, что то же, образование присоединенного вихря крыла, возможно только благодаря воздействию вязкости воздуха.

С точки зрения современной гидромеханики в средах с малою вязкостью, к которым принадлежат воздух и вода, эти силы вязкости заметно проявляются только в тонком слое жидкости, непосредственно прилегающем к поверхности тела (так называемый пограничный слой Прандтля), так что вне этого тонкого слоя воздух с очень большим приближением можно считать идеальною, т. е. совершенно лишенною вязкости, средою. К пограничному слою теорема Лагранжа — Томсона неприложима; в нем вследствие вязкости воздуха и прилипания его к обтекаемому телу возникают вихревые движения. Завихренные массы воздуха, образующие пограничный слой, постепенно смываются потоком с поверхности крыла, и этот распад завихренного пограничного слоя и вызывает в конце концов образование циркуляции вокруг обтекаемого тела.

Однако, несмотря на очень большое число работ по теории пограничного слоя, наука и в настоящее время не в состоянии сколько-нибудь удовлетворительно решить вопрос о том, как определить величину этой циркуляции по кинематическим и геометрическим свойствам течения, т. е. по скорости течения, вязкости жидкости, форме тела и расположению его относительно набегающего потока; тем большую трудность представлял этот вопрос сорок лет тому назад, когда, например, теория пограничного слоя совершенно не была разработана.

Для Жуковского вопрос о связи циркуляции Г, входящей в его формулу, с вязкостью воздуха был совершенно ясен. Например, в своем первом мемуаре о вихревой теории гребного винта он говорит об этом как о хорошо известном факте [2, стр. 75]. Однако невозможность определить теоретическим путем Г заставляла его отказываться от применения своей теоремы к определению подъемной силы крыла. Трудности, оказавшиеся непреодолимыми для теории, удалось обойти введением одного дополнительного постулата, носящего чисто экспериментальный характер. Многочисленные наблюдения в аэродинамических трубах показали, что при малых углах атаки, которые только и применяются в авиации, поток жидкости обтекает крылья плавно таким образом, что задняя острая кромка является линией, по которой поток сходит с крыла. Это явление, несомненно, связано с влиянием вязкости, которая проявляется особенно сильно как раз около острой задней кромки; однако теоретически не удается строго показать, что это явление с необходимостью вытекает из уравнений, определяющих течение при учете вязкости воздуха.

С. А. Чаплыгин в конце 1909 г. заметил, что циркуляция Г вполне определяется, если принять, что при обтекании крылообразных тел точкою схода струй является острая задняя кромка. Этот знаменитый опытный постулат стал впервые широко известен в иностранной литературе из работ Жуковского и получил не совсем точное название «основной гипотезы Жуковского»; он позволяет косвенно учитывать влияние вязкости на образование циркуляции вокруг крыла. Этот постулат и открыл широкие возможности для применения теоремы Жуковского и его идеи о присоединенных вихрях к разнообразнейшим задачам теории крыла и винта, которые и составляют сущность современной технической аэромеханики.

Мы попытались выяснить самые общие механические и физические идеи, лежащие в основе замечательных исследований Н. Е. Жуковского, не входя в рассмотрение всех многочисленных приложений их к разнообразным частным задачам технической аэромеханики, которые были сначала сделаны Н. Е. Жуковским и С. А. Чаплыгиным и создали мировую славу этим ученым как основателям современной технической аэромеханики, а затем вошли как основа в бесчисленные исследования ученых и инженеров.

Оглядываясь назад, мы видим, как далеки и по цели и по методам исследования эти работы от того состояния механики, в котором она находилась полвека назад. Тесная связь с запросами техники, с запросами практической жизни дала механике исключительную целеустремленность, открыла разнообразнейшие области ее применения, поставила перед ней актуальные и сложные задачи. Сближение теоретической механики с опытными науками, широкое использование в ней данных эксперимента чрезвычайно расширили ее возможности. Умело применяемые в дополнение к общим теоретическим предпосылкам физические схемы, положения, почерпнутые из опыта, позволяют современным механикам смело браться за разрешение таких задач, которые еще недавно казались недоступными для современной науки. Все это чрезвычайно сближает современную теоретическую механику с современной физикой, где смелое использование опытных данных, умелое введение дополнительных, не вытекающих из современной теории гипотез чрезвычайно расширяет теоретические построения. В этом сближении изысканий по теоретической механике с задачами современной техники, с одной стороны, и в сбли-

жении методов механики с методами современного естествознания, например, современной физики — с другой, Н. Е. Жуковскому принадлежит, наряду с очень немногими современными учеными-механиками, совершенно исключительная роль.

Эти глубокие идеи привели Н. Е. Жуковского к его замечательным исследованиям в области гидро- и аэромеханики. Созданная им теория плавного обтекания тел, частным случаем которой является теория крыла самолета, его классические работы по частным вопросам теории крыла, замечательные исследования по теории гребных винтов являются гордостью русской науки и вошли как основные, классические результаты в мировую науку. Глубокое изучение его исследований, работа над поставленными им задачами и их разработка в духе его общих научных идей, несомненно, дадут широкие возможности дальнейшего проникновения в изучение сложных задач, которые перед нами ставит природа в движении жидкостей и газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rayleihg.* On the irregular Flight of a Tennis Ball. Mess. of Math., 1878, vol. 7.
2. *Н. Е. Жуковский.* Собр. соч., т. VI.
3. *Н. Е. Жуковский.* Собр. соч., т. V.
4. *С. А. Чаплыгин.* Собр. соч., т. II.
5. *L. Prandtl, A. Betz.* Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik. Cöttingen, 1927.
6. *В. В. Голубев.* Теория крыла аэроплана конечного размаха. 1931.
7. *Дюренд.* Аэродинамика, т. II.
8. *Н. Е. Жуковский.* Собр. соч., т. I.

Академик

А. И. Некрасов

РАБОТЫ С. А. ЧАПЛЫГИНА ПО АЭРОДИНАМИКЕ


аучные работы С. А. Чаплыгина собраны в трех томах полного собрания его сочинений, содержащих 38 работ, из которых аэродинамике посвящено 14, т. е. примерно третья часть всех его научных трудов. По числу работ по аэродинамике и по их значению для развития этой молодой науки С. А. Чаплыгин вместе со своим учителем Н. Е. Жуковским должен быть отнесен к основоположникам теоретической аэродинамики, игравшим ведущую роль в мировой науке. Ряд результатов, полученных Чаплыгиным, сохраняет полную силу по настоящее время и сохранит ее и впредь. Исследование его по движению газов является в настоящее время основным в мировой науке; оно постоянно используется в теоретических работах по газовой динамике.

Первый научный труд С. А. Чаплыгина «О некоторых случаях движения твердого тела в жидкости» посвящен гидродинамике. Он был напечатан в 1894 г. Затем до 1902 г. появился целый ряд других его научных работ по вопросам гидродинамики и вообще теоретической механики.

В 1902 г. была напечатана его докторская диссертация «О газовых струях», создавшая эпоху в газовой динамике. С этих пор научные интересы Чаплыгина явно склоняются к теоретической аэродинамике. Из 19 работ, появившихся до 1933 г. после его докторской диссертации, 13 исследований посвящено аэродинамике.

После 1902 г. авиация постепенно стала превращаться из мечты в действительность; она ставила перед теорией все новые и новые вопросы. Как раз в это время в Московском университете и в Московском высшем техническом училище, с которыми был связан С. А. Чаплыгин, работал его учитель Н. Е. Жуковский, по праву получивший наименование «отца русской авиации». Нет ничего удивительного, что научные интересы Чаплыгина склонились к аэродинамике — одной из основных авиационных дисциплин.

В то время скорости самолетов были еще невелики, они не достигали даже 20% скорости звука в воздухе. При таких небольших скоростях можно было пренебрегать сжимаемостью воздуха, как это и было показано Чаплыгиным в его докторской диссертации «О газовых струях». Поэтому в своих исследованиях по теоретической аэродинамике, посвященных главным образом теории профиля крыла самолета, Чаплыгин изучает обтечения профилей потоком несжимаемой жидкости и определяет силы, действующие на обтекаемые профили. Заметим, что крылом конечного размаха Чаплыгин никогда не занимался. Таким образом, в этих исследованиях Чаплыгин всегда оставался в области теории двухразмерного потока несжимаемой жидкости, где полновластно царит теория функций комплексного переменного, которою он владел в совершенстве.

Рассмотрим сначала аэродинамические работы С. А. Чаплыгина, в которых пренебрегается сжимаемостью воздуха, а затем дадим обзор его докторской диссертации «О газовых струях», в которой сжимаемость газов рассматривается как основной физический фактор, характеризующий газ.

Первою аэродинамическою работою Чаплыгина из группы работ по теоретической аэродинамике, в которых пренебрегается сжимаемостью воздуха, была его работа «О давлении плоскопараллельного потока на преграждающие тела (к теории аэроплана)», напечатанная в 1910 г. В этой замечательной работе им получены результаты, которые с тех пор навсегда остались мощным средством исследований в теоретической аэродинамике. В первую очередь здесь надлежит привести знаменитые формулы Чаплыгина для давления и момента сил давления жидкости на обтекаемый контур

$$Y + iX = -\frac{\rho}{2}\int\left(\frac{dw}{dz}\right)^2 dz, \qquad M = \partial.\, r.\left[-\frac{\rho}{2}\int z\left(\frac{dw}{dz}\right)^2 dz\right],$$

где X и Y — проекции результирующей всех сил давлений на обтекаемый контур, M — общий момент этих сил давлений, ρ — плотность жидкости, w — комплексный потенциал течения жидкости, обтекающей контур, расположенный на плоскости комплексного переменного $z = x + iy$. Интегралы берутся вдоль любого замкнутого пути, окружающего обтекаемый контур. Таким образом, вычисления силы давления и момента были приведены к нахождению вычетов определенных функций. В этой же работе Чаплыгин указывает, что имеются три источника возникновения поддерживающей силы потока: срыв струй с контура (что приводит к незначительной силе); наличие циркуляции скорости вокруг присоединенных вихрей (открыто Жуковским); наличие циркуляции скорости вокруг бесконечно удаленной точки. В этом указанном им третьем источнике силы давления получается тот же закон Жуковского. В качестве первого примера он рассматривает обтекание дуги круга потоком, который должен течь на бесконечности параллельно хорде этой дуги; при этом он дает конформное изображение внешности дуги круга на внутренность единичного круга. Относящиеся сюда формулы имеют вид

$$z = a\,\frac{h-u}{u\,(hu-1)}, \qquad w = v_0\,ahi\left(\frac{1}{u} - u + 2h\,\mathrm{Log}\,u\right),$$

где a — радиус дуги круга; $h = \sin\frac{\alpha}{2}$, где 2α есть центральный угол, стягиваемый рассматриваемою дугою; v_0 — скорость жидкости на бесконечности; u — вспомогательное комплексное переменное, на плоскости которого внешность дуги круга изображается внутри единичного круга. Сверх этого конформного изображения, С. А. Чаплыгин дает формулы для изображения внешности дуги круга на полуплоскости и на бесконечной полосе между параллельными прямыми, причем он выявляет себя здесь как замечательного мастера в области нахождения конформных преобразований. Заметим, что раньше С. А. Чаплыгина конформное изображение внешности дуги окружности на внешности всей окружности нашли Кутта в Германии и Н. Е. Жуковский у нас. Любопытно, что давление на профиль в форме дуги круга оказалось пропорциональным стрелке прогиба профиля и не зависящим от радиуса той окружности, из которой вырезан профиль. Этот результат теории был подтвержден опытами, произведенными в Московском университете и в Московском высшем техническом училище.

С. А. Чаплыгин показал также, что, снабжая переднюю кромку профиля малою окружностью, которая изображает всегда убывающее притупление передней кромки крыла, можно снять стеснение, чтобы скорость потока на бесконечности была параллельна хорде обтекаемой дуги круга.

Наконец, кроме рассмотренного профиля, Чаплыгин кратко описывает обширный класс дужек других очертаний, обтечение которых несжимаемым потоком можно найти теоретически. Например, к числу таких дужек относятся некоторые дужки с зубчатою вогнутою поверхностью.

В работе «Результаты теоретических исследований о движении аэропланов», доложенной в октябре 1910 г. и напечатанной в 1911 г., С. А. Чаплыгин излагает современное той эпохе состояние теории; в том числе он реферирует и свое приведенное выше исследование. Эта работа требует специального упоминания, так как в ней имеется одно замечательное указание. Именно, С. А. Чаплыгин замечает, что «реальное явление обтечения крыльев конечной длины должно быть похоже на то, которое получается при рассмотрении бесконечно длинных крыльев, потому что в действительности крылья конечной длины необходимо будут сопровождаться увлекающимися на них вихорьками, вместе с которыми крылья могут быть моделированы бесконечным крылом. В существе явления будут похожи и с качественной стороны и даже с количественной. Эти сопровождающие крылья вихри должны иметь вид длинных усов, расходящихся далеко в обе стороны, а затем заворачивающих назад и вниз. В несжимаемой жидкости без трения эти вихри бесконечно длинны». Эти слова С. А. Чаплыгина показывают, как он был близок к схеме, предложенной Прандтлем для получения обтечения крыла конечного размаха, что привело Прандтля к открытию индуктивного сопротивления. Но Прандтль мог это сделать, так как он внес в свою схему математическое исследование, Чаплыгин же свою схему не подверг математической обработке. Во всяком случае обе схемы очень близки друг другу, и нет ничего невероятного в том, что Прандтль мог знать о схеме Чаплыгина.

В напечатанной в 1914 г. работе «Теория решетчатого крыла» С. А. Чаплыгин разрешил трудную задачу обтечения плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости бесконечной решетки, составленной из параллельных пластин одинаковой ширины. В начале этой работы Чаплыгин указывает, что, «ставя перед собою задачу о решетке, он имел в виду хотя приблизительно решить вопрос о решетчатом крыле

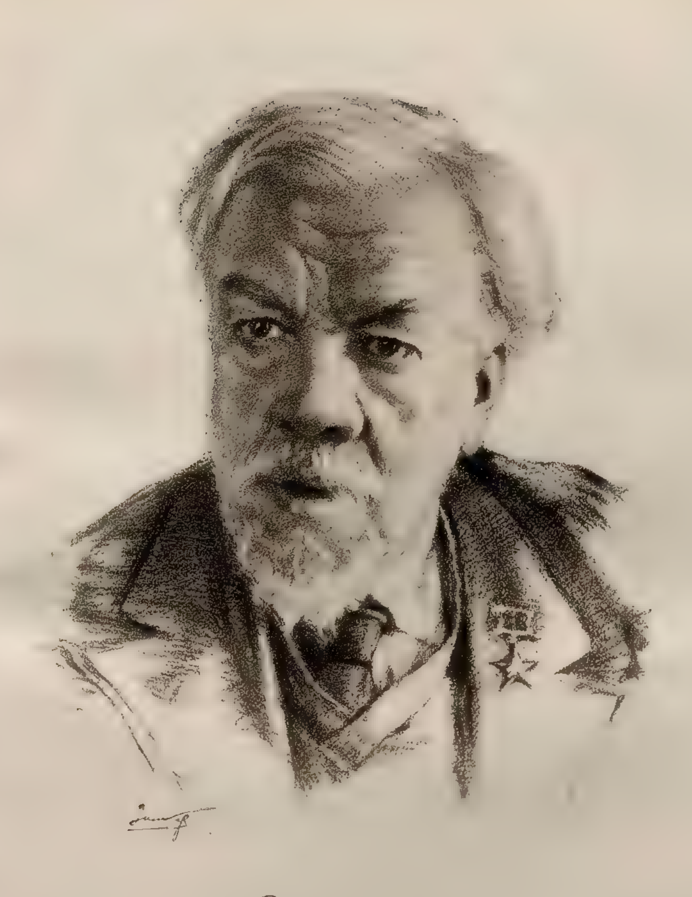
аэроплана, так как представляется довольно вероятным, что аэроплан с такого рода крыльями будет более устойчив при полете». Как известно, авиационная техника пошла по пути развития моноплана, что оказалось более целесообразным, а не мультипланов, но тем не менее эта работа С. А. Чаплыгина оказалась полезною, например, для теории турбин, колеса которых представляют собой решетки, и т. п. В этой работе замечательно искусство, проявленное С. А. Чаплыгиным, для нахождения конформного преобразования всей области переменного z вне перьев решетки в полуплоскость переменного u так, что обеим сторонам прямолинейных отрезков решетки соответствует последовательность отрезков действительной оси полуплоскости комплексного переменного $u=\xi+i\eta$. В работе не показано, каким путем он подошел к этой формуле конформного преобразования; он приводит эту формулу сразу и затем показывает, что она удовлетворяет требуемым условиям. Такой способ введения в работы формул конформных преобразований обычен для Чаплыгина; этот способ зачастую требует от изучающего достаточно больших усилий, вследствие чего научные работы Чаплыгина по теоретической аэродинамике не могут быть признаны легкими. Упомянутая выше формула для конформного преобразования области переменного z вне решетки на полуплоскость переменного u имеет вид

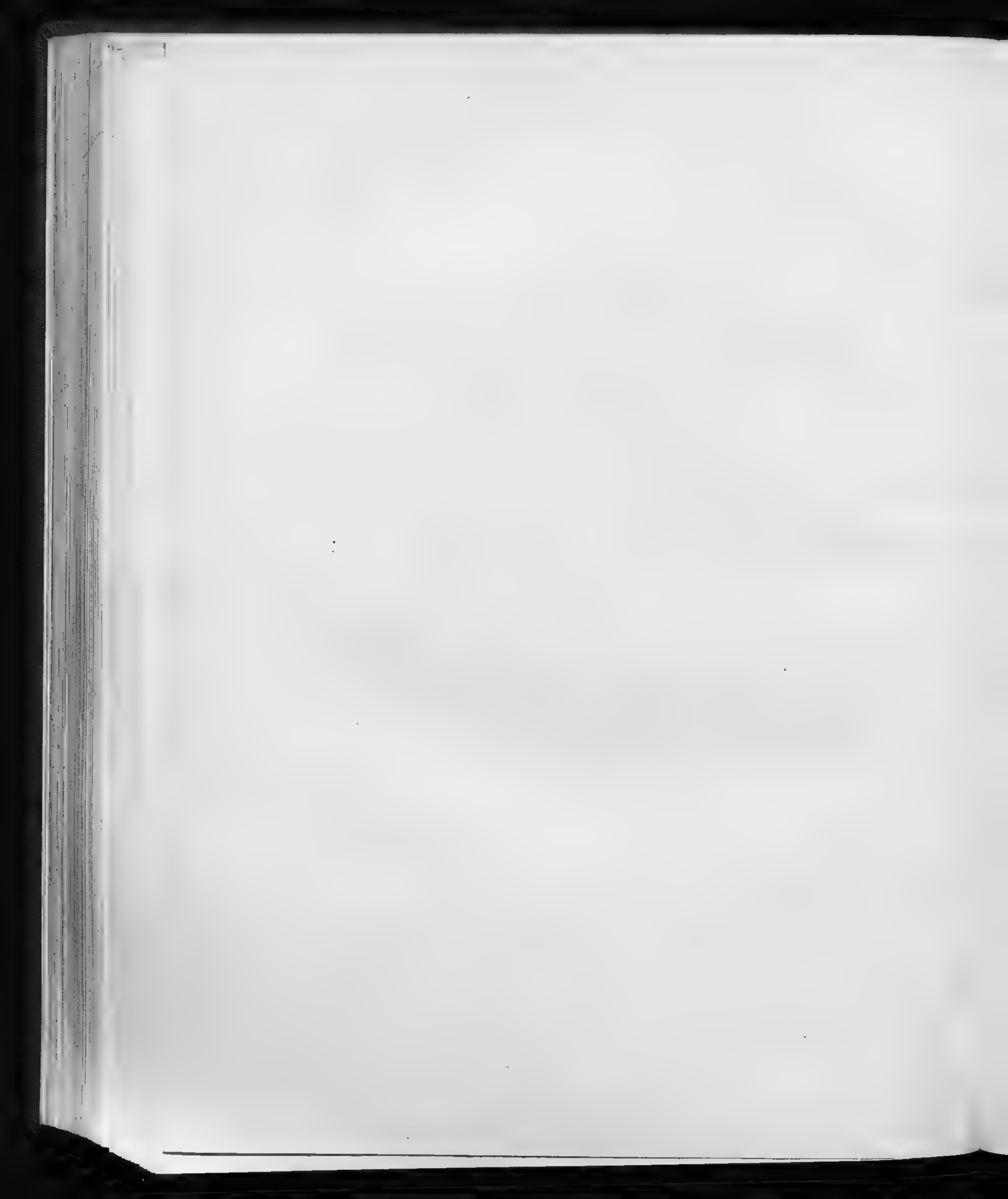
$$\frac{2\pi}{a} z \cos\mu \cos\operatorname{hyp}\alpha = \cos(\mu - i\alpha)\operatorname{Log}\left(\frac{\operatorname{tg}\frac{i\alpha-u}{2}}{i\operatorname{tg}\operatorname{hyp}\frac{\alpha}{2}}\right) - \cos(\mu + i\alpha)\operatorname{Log}\left(\frac{\operatorname{tg}\frac{i\alpha+u}{2}}{i\operatorname{tg}\operatorname{hyp}\frac{\alpha}{2}}\right).$$

Здесь количество a есть расстояние между соответственными концами прямолинейных отрезков решетки в направлении, им параллельном, а количества μ и α связаны с шириною $2l$ пластин решетки и с перпендикулярным расстоянием b между пластинами формулами

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tg}\mu \operatorname{tg}\operatorname{hyp}\alpha,$$

$$\frac{l}{a} = \frac{1}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\cos\mu}{\sin\operatorname{hyp}\alpha} + \frac{1}{2\pi}\operatorname{tg}\mu \operatorname{tg}\operatorname{hyp}\alpha \log\left(\frac{\cos\operatorname{hyp}\alpha + \sin\mu}{\cos\operatorname{hyp}\alpha - \sin\mu}\right).$$





Для комплексного потенциала w Чаплыгин берет формулу

$$\frac{i}{v_0}\frac{dw}{dz} = N \frac{\sin\frac{u-\lambda}{2}}{\sin\left(\frac{u}{2}-\frac{\pi}{4}-\frac{\mu}{2}\right)},$$

где N и λ — постоянные, из которых N всегда действительно; эти постоянные можно определить по характеру жидкого потока на бесконечности. Скорость потока оказывается равною бесконечности на переднем крае каждой пластины. Применяя свою общую формулу для проекций силы общего давления на оси координат, Чаплыгин находит силу давления на каждое перо решетки. Оказывается, что если решетка представляет многопланный профиль, т. е. перья решетки расположены друг под другом, то подъемная сила каждого плана, входящего в состав многопланного крыла, всегда больше подъемной силы отдельного плана в бесконечном потоке. Чаплыгин показывает, как следует изменить формулы, чтобы получить решетку, перья которой имеют криволинейный профиль с острием сзади; при этом можно достигнуть того, что жидкий поток с каждой задней кромки пера будет сходить с конечной скоростью и будет иметь критическую точку нулевой скорости на закругленной передней части каждого пера решетки. Можно также получить и криволинейное очертание пера с острыми концами с обеих сторон; такой вид обыкновенно имеют лопатки паровой турбины.

В работе «К общей теории крыла моноплана», изданной в 1922 г., С. А. Чаплыгин устанавливает некоторые общие предложения, имеющие место для профиля любого вида. При этом он пользуется конформным изображением внешности профиля, расположенного на плоскости комплексного переменного $z = x + iy$, на полуплоскость комплексного переменного u так, чтобы действительная ось полуплоскости u соответствовала контуру профиля. Формула такого конформного преобразования, имеющая место для любого профиля, должна иметь вид

$$\frac{z}{a} = \frac{A}{u-\alpha} + f(u-\alpha),$$

где a — линейное количество, A — некоторое комплексное число, f — голоморфная функция своего аргумента и α — аффикс точки на полупло-

скости u, соответствующей бесконечно удаленной точке плоскости z. Что касается комплексного потенциала w, то он должен быть связан с переменным u соотношением

$$\frac{1}{av_0}\frac{dw}{du}=(\alpha_1-\alpha)\frac{Ae^{-i\theta_0}(u-\alpha_1)-A_1e^{i\theta_0}(u-\alpha)}{(u-\alpha)^2(u-\alpha_1)^2},$$

где α_1 и A_1 — комплексные числа, сопряженные соответственно числам α и A, количество v_0 представляет скорость потока на бесконечности, а количество θ_0 — угол этой скорости с осью x на плоскости переменного z. Применяя свои формулы, Чаплыгин прежде всего находит величину поддерживающей силы P, действующей со стороны потока на профиль, и момент M всех сил давления потока на профиль, или опрокидывающий момент. Оказалось, что сила P равна

$$P=\rho av_0K\sin\sigma,$$

где ρ — плотность жидкости, K — некоторое постоянное и σ — угол, образуемый потоком вдали от профиля с критическим направлением, при котором поддерживающая сила потока обращается в нуль. Затем С. А. Чаплыгин переходит к разысканию геометрического места метацентров, т. е. точек пересечения, перпендикулярных к направлению потока прямых действия поддерживающей силы с таковыми же соседними прямыми при бесконечно малых отклонениях течения. Он находит, что геометрическим местом метацентров является парабола с директриссою, параллельною критическому направлению потока. Эта парабола была названа Чаплыгиным параболою устойчивости, так как чем эта парабола острее, т. е. чем меньше ее параметр, тем ближе к профилю будет расположен метацентр, т. е. тем устойчивее будет профиль. С. А. Чаплыгин был первым, нашедшим и введшим в теоретическую аэродинамику параболу устойчивости; в зарубежной научной литературе к ней также пришли, но позднее. Исходя из понятия параболы устойчивости, Чаплыгин выводит ряд общих предложений о поддерживающей силе и опрокидывающем моменте, из которых укажем, что можно подобрать такое очертание профиля, при котором параметр параболы устойчивости обратится в нуль; в этом случае опрокидывающий момент также будет равен нулю, и поддерживающая сила будет проходить через определенную неизменную

точку для каждого профиля. Такие формы профилей выгодны для рулей самолета.

Далее Чаплыгин показывает в этой работе, что если имеется профиль с произвольным очертанием, то всегда можно найти семейство дуг круга, которые имеют ту же самую параболу устойчивости, что и данный профиль; поддерживающая сила профиля и его опрокидывающий момент в таком случае будут пропорциональны аналогичным силе и моменту для дуги. Такие дуги кругов Чаплыгин назвал изображающими дугами. Дуга круга, для которой эта пропорциональность приведется к равенствам, была названа им главною дугою профиля, а ее центр, хорду и стрелку он предложил называть центром, хордою и стрелкою профиля.

Свои общие формулы Чаплыгин применяет к детальному изучению обтечения профилей, представляющих инверсию параболы и инверсию эллипса; эти виды теоретических профилей впервые были введены им. Большой раздел этой работы он посвятил также изучению обтечения профиля с закругленным задним концом, что всегда и бывает на практике. Анализ, развитый Чаплыгиным в этом разделе работы, приводит его к заключению, что толстый профиль оказывается более выгодным, чем тонкий, как в смысле величины подъемной силы, так и большей устойчивости толстого профиля. К этому указанию он возвращается несколько раз. Как известно, авиационная техника пошла именно по этому пути, и все самолеты снабжались толстыми крыльями. Достижение самолетами очень больших скоростей заставило отказаться от толстых крыльев.

В работе «Схематическая теория разрезного крыла аэроплана», напечатанной в 1921 г., С. А. Чаплыгин был первым, указавшим на выгоду применения разрезного крыла и математически обосновавшим эту выгоду анализом обтечения разрезных профилей; практическое осуществление разрезных крыльев впервые было выполнено за границей. С. А. Чаплыгин указывает, что еще в работе «Теория решетчатого крыла», опубликованной в 1914 г., он нашел, что крылья такого рода представляют выгоды, но перенесение этих выводов непосредственно на крылья с конечным числом перьев было, конечно, невозможно, хотя представлялось вероятным, что и в таком случае выгода в некоторой мере могла сохраниться. В результате работы над этим вопросом Чаплыгин пришел к общим формулам, позволяющим установить решение для разрезного крыла

79*

с произвольным числом перьев. Это решение позволяет по геометрическим характеристикам крыла определить как поддерживающую силу, так и вращающий момент и положение метацентра, не выходя за пределы простейших элементарных функций. Чаплыгин начинает с рассмотрения плоского разрезного крыла из трех перьев и затем показывает, как следует изменить формулы, чтобы получить теорию плоского разрезного крыла с произвольным числом перьев. После этого он переходит к рассмотрению вогнутого разрезного крыла из двух перьев, которые являются частями боковой поверхности одного и того же круглого цилиндра; полученные при этом результаты он иллюстрирует числовыми примерами. Работа заканчивается рассмотрением вогнутого разрезного крыла с произвольным заданным числом перьев, представляющих части боковой поверхности одного и того же круглого цилиндра. Конечно, так как Чаплыгин рассматривает задачу о разрезном крыле, подобно всем задачам о крыльях, как плоскую задачу, то задача о плоском разрезном крыле приводится к задаче на обтечение плоскопараллельным потоком прямолинейных отрезков, а задача о вогнутом разрезном крыле приводится к задаче на обтечение плоскопараллельным потоком системы дуг одной и той же окружности.

Свою работу С. А. Чаплыгин начинает с изучения обтечения плоскопараллельным потоком трех прямолинейных отрезков, расположенных вдоль одной и той же прямой. Эту прямую он принимает за ось Ox, а ось Oy проводит перпендикулярно к оси Ox через точку O, являющуюся крайней задней точкой последнего прямолинейного отрезка, т. е. задним концом составного крыла. Длины переднего, среднего и последнего отрезков он обозначает через e, c и a, а соответственные промежутки между ними — через d и b. Полагая $z = x + iy$, Чаплыгин вводит следующую функцию комплексного переменного:

$$R=\sqrt{\frac{\left(1-\frac{a+b}{z}\right)\left(1-\frac{a+b+c+d}{z}\right)}{\left(1-\frac{a}{z}\right)\left(1-\frac{a+b+c}{z}\right)\left(1-\frac{a+b+c+d+e}{z}\right)}},$$

где $R=+1$ при $z=\infty$. Тогда во всей области течения, представляемой бесконечной плоскостью комплексного переменного z с разрезами по ука-

занным выше прямолинейным отрезкам, функция R будет всюду однозначна; она конечна везде, кроме передних точек прямолинейных отрезков. На всей части действительной оси, не занятой прямолинейными отрезками, количество R будет действительно и положительно, а на обеих сторонах каждого прямолинейного отрезка функция R будет чисто мнимою и обладать разными знаками. Комплексный потенциал w Чаплыгин определяет следующим соотношением:

$$-\frac{1}{v_0}\frac{dw}{dz}=\cos\sigma+iR\sin\sigma,$$

где v_0 — скорость потока на бесконечности, и на бесконечности будет $\sigma=\pi-\theta_0$, где θ_0— угол скорости v_0 с осью Ox. Так как циркуляция I скорости равна $2\pi i\varkappa$, где $\varkappa$ есть вычет функции $\frac{dw}{dz}$ в области бесконечно удаленной точки, то по формуле Жуковского $P=I\rho v_0$ Чаплыгин находит для поддерживающей силы P рассматриваемого разрезного крыла выражение

$$P=\pi\rho v_0^2 l\sin\sigma,$$

где l — полная ширина крыла со сдвинутыми вплотную перьями. Таким образом, поддерживающая сила плоского крыла не изменяется, будут ли ею перья раздвинуты или сомкнуты вплотную. Определив затем опрокидывающий момент M, он показывает, что центр давления для рассматриваемого крыла не меняет своего положения при изменении угла атаки. Такими же свойствами обладает плоское крыло с произвольным числом перьев.

После этого Чаплыгин обращается к изучению обтечения двух дуг, выделенных из одной и той же окружности с единичным радиусом. За начало координат он принимает центр окружности, из которой выделены рассматриваемые дуги, и направляет действительную ось через задний конец крыла. Он обозначает через α центральный угол, опирающийся на заднюю дугу, через β — центральный угол, опирающийся на промежуток между дугами, и через γ — центральный угол, опирающийся на переднюю дугу. Оказывается, комплексный потенциал w течения, обте-

кающего рассматриваемую систему двух дуг, можно связать с комплексным переменным $z = x + iy$ следующим соотношением:

$$\frac{1}{v_0}\frac{dw}{dz} = \frac{1}{2}e^{-i\theta_0} - \frac{1}{2z^2}e^{i\theta_0} + \frac{\varkappa i}{z} + \left(\frac{1}{2}e^{-i\theta_0} + \frac{d^2}{2z^2}e^{i\theta_0} + \frac{G}{z}\right)R,$$

где

$$R = \sqrt{\frac{\left(1-\frac{1}{z}\right)\left(1-\frac{b}{z}\right)}{\left(1-\frac{a}{z}\right)\left(1-\frac{c}{z}\right)}},$$

$$a = e^{\alpha i}, \qquad b = e^{(\alpha+\beta)i}, \qquad c = e^{(\alpha+\beta+\gamma)i}, \qquad d = e^{\frac{\alpha+\gamma}{4}i},$$

и количества $\varkappa$ и G суть действительные количества, которые можно определить из условий на бесконечности. Количество v_0 представляет скорость потока на бесконечности и θ_0 — угол, образуемый скоростью v_0 с действительной осью. Отсюда, так же как для плоского разрезного крыла, можно найти поддерживающую силу, действующую на рассматриваемую систему двух дуг. Оказалось, что система двух дуг окружности обладает другими свойствами, чем система прямолинейных отрезков, расположенных вдоль прямой. Именно, разрезное вогнутое крыло дает выигрыш в подъемной силе по сравнению с крылом сомкнутым. Этот выигрыш будет тем больше, чем меньше угол атаки, достигая почти 50% для рассматриваемого типа вогнутых разрезных крыльев при угле атаки, равном нулю. Далее, сравнение подъемной силы рассматриваемого разрезного крыла с подъемною силою сплошного крыла, которое получается по закрытии выреза материальною дугою, показывает, что для разрезного крыла имеется потеря сравнительно с подъемною силою сплошного крыла без выреза. Однако эта потеря не так велика, как можно было бы ожидать, судя по размеру выреза; именно эта потеря в процентах по отношению к подъемной силе сплошного крыла без выреза почти подходит к половине процента выреза по отношению к общей поверхности крыла. Затем Чаплыгин переходит к рассмотрению вогнутого разрезного крыла с произвольным заданным числом перьев, причем попрежнему все перья вырезаны из боковой поверхности одного и того же круглого цилиндра. Сверх поддерживающей силы такого крыла С. А. Чаплыгин находит еще опрокидывающий момент и место метацентра. После детального анализа полу-

ченных результатов он приходит к заключению, что вырез в крыле делает крыло гораздо более устойчивым, чем крыло сплошное, но этот вырез должен быть достаточных размеров и иметь надлежащее место в крыле, располагаясь в передней его части. В заключении рассматриваемой работы имеется следующая замечательная последняя фраза:

«Наконец, благодаря тому же понижению давления, струйки будут лучше прилегать к верхней поверхности заднего пера, а потому возможно, что рост подъемной силы с возрастанием угла встречи будет наблюдаться в более широких пределах увеличения этого угла, чем это имеет место при сплошном крыле». Эта фраза замечательна тем, что в ней ясно предвидится возможность задержки точки отрыва регулированием пограничного слоя так, как это было сделано много позднее в разрезном крыле Хэндлей Пэджа.

В работе «К теории открылка и закрылка», опубликованной в 1931 г., С. А. Чаплыгин дает более новый способ объяснения роли открылка и закрылка, чем тот, который был им дан в предыдущей работе «Схематическая теория разрезного крыла аэроплана». Смысл и содержание работы «К теории открылка и закрылка» прекрасно уясняются из следующих вводных фраз, предпосланных самим автором в начале работы:

«За последнее время у нас в СССР, как и за границей, чрезвычайно сильно возрос интерес к так называемым разрезным крыльям, дающим значительное увеличение подъемной силы. Впервые идея применения таких крыльев была предложена проф. С. А. Чаплыгиным еще в 1910 г. в работе «Теория решетчатого крыла» и, наконец, в 1922 г. им была обоснована теория разрезного крыла в работе «Схематическая теория разрезного крыла аэроплана». Предлагаемая работа «К теории открылка и закрылка» представляет новую попытку теоретического объяснения роли закрылка и открылка; она основана на изучении обтекания прямолинейного контура с отклоняемым на различные углы концом, причем поток, как всегда, предполагается несжимаемым и невихревым, а сам контур представляет одну из линий тока с двумя точками раздела — с нулевой скоростью в точке набегания потока и точкой схода потока, где скорость конечна. В этом случае характер течения в области угловых точек на крыле существенно с качественной стороны отличается от того, который имел бы место в присутствии щели. Но если щель узкая, то распределение давлений в соседстве с нею на прилегающих частях крыльев

в общем количественно мало будет разниться от того, которое было бы при закрытии щели. Поэтому мы полагаем, что найденные в рассматриваемой нами схеме явления величины подъемной силы должны довольно близко соответствовать реальным».

Чаплыгин изображает область течения на верхней полуплоскости вспомогательного комплексного переменного u формулою

$$z = ak \frac{u^{1-n}}{(u-1)^2 + b^2},$$

где $OA = a$ есть прямолинейный контур, расположенный вдоль оси Ox, с закрылком OB, причем $\angle AOB = (1-n)\pi$, и число n — правильная дробь. Полагая, что при $z = a$ должно быть $u = \alpha$, найдем

$$k = \frac{(\alpha - 1)^2 + b^2}{\alpha^{1-n}}.$$

Число b определяется через длину закрылка OB. Комплексный потенциал w Чаплыгин связывает с переменным u соотношением

$$\frac{dw}{dz} = \frac{v_0 N}{1+n} \frac{u-\gamma}{\alpha - u} u^n,$$

где $u = \gamma$ соответствует точке с нулевою скоростью, а $u = \alpha$ — бесконечно большому значению скорости в точке A. Из этих формул Чаплыгин находит циркуляцию скорости, а отсюда, по теореме Жуковского, и поддерживающую силу крыла с закрылком. Проведенные числовые вычисления для ряда случаев показывают увеличение подъемной силы от присутствия такого закрылка, зависящее от величины угла закрылка с крылом и большее при малых углах атаки.

Работа «О влиянии плоскопараллельного потока воздуха на движущееся в нем цилиндрическое крыло» (1926) замечательна тем, что она была одною из первых работ в новой важной области теоретической аэродинамики; эту новую область аэродинамики можно определить как теорию крыла в нестационарном потоке. Двигающийся прямолинейно и равномерно профиль, и притом колеблющийся, изменяет циркуляцию вокруг себя и сопровождается вихревым следом; в настоящее время изучение аэродинамики явления доступно в этом случае лишь при условии,

что колебания профиля будут бесконечно малыми. Но если профиль движется по окружности с постоянною угловою скоростью или если проекция скорости жидкости на нормаль к профилю в заднем его фокусе, т. е. на одной четверти его длины от задней кромки, равна нулю, то циркуляция вокруг профиля остается постоянной, и вихревого следа за профилем существовать не будет. При этом оказывается, что, отказавшись от переменности циркуляции, можно отбросить условие бесконечной малости возмущений прямолинейного и равномерного движения профиля и рассматривать движения, существенно отличающиеся от прямолинейного.

Первым, изучившим такого рода движения, и был С. А. Чаплыгин (1926), а вслед за ним независимо от него — Глауерт в Англии (1929). В предисловии к своей работе Чаплыгин заявляет: «В предлагаемой работе автор устанавливает основы, на которые должно опираться теоретическое исследование продольной устойчивости самолета. Для этого необходимо иметь формулы, определяющие прежде всего подъемную силу и момент давлений воздуха на крыло, движущееся каким угодно переменным движением. Указанный вопрос и разрешается автором для случая плоского потока при условии постоянства циркуляции».

Заметим, что условие постоянств циркуляции стесняет движение профиля; профиль не может двигаться как угодно, а должен двигаться по окружности с постоянною угловою скоростью. Такого рода движение приближенно имеет место при фигурных полетах и при входе в пикирование. Следовательно, рассматриваемое исследование Чаплыгина ближе подходит к изучению фигурных полетов и входов в пикирование, чем к изучению общего случая продольной устойчивости самолета.

Свое исследование С. А. Чаплыгин ведет в прямоугольных осях координат, неизменно связанных с двигающимся профилем. Отсюда проистекает необходимость составить уравнения гидродинамики в подвижных осях координат, получить из них интеграл Лагранжа для давления, а затем, зная давление в точке, получить формулы для результирующего давления на контур и для опрокидывающего момента. Выполняя все эти операции, которые не являются простыми, он получает формулы для давления и опрокидывающего момента, которые будут значительно сложнее формул, полученных самим же Чаплыгиным для случая неподвижных

осей координат и приведенных выше в обозрении самой первой работы его по теоретической аэродинамике. Полученные формулы Чаплыгин применяет к профилю, имеющему форму вытянутого эллипса, который в пределе переходит в двойной прямолинейный отрезок. После ряда длинных вычислений он находит среднюю поддерживающую силу и средний опрокидывающий момент для случая, когда эллипс находится в колебательном движении. Оказалось, что средняя поддерживающая сила за период колебаний определяется формулой Жуковского по нормальному режиму.

Такое же исследование С. А. Чаплыгин выполняет для профиля, представляющего дужку окружности, и для профиля более общего типа, частным случаем которого является инверсия параболы или эллипса. В заключении работы даются общие формулы для результирующих сил давления и момента для произвольного профиля, т. е. применяются формулы для сил и опрокидывающего момента к общему аналитическому выражению всякого профиля и аналитическому выражению соответствующего комплексного потенциала. Как обычно, и в этой работе Чаплыгин пользуется комплексными переменными и функциями комплексного переменного, но анализ здесь сложнее и не может быть проведен только в функциях комплексного переменного, так как вместе с комплексным переменным $z = x + iy$ в формулах участвует и действительное переменное t — время. Эта работа нашла ряд продолжателей и привела к созданию московской школы по изучению неустановившихся движений профиля путем применения к задаче комплексных переменных в отличие от зарубежных исследований, которые все ведутся в действительных переменных. Оказалось, что введение комплексных переменных приносит в задачах о неустановившихся движениях профиля определенные значительные выгоды.

Работа «Подъемная сила составного крыла» была написана в 1912 г., но опубликована с незначительными изменениями и дополнениями лишь в 1935 г. при издании полного собрания сочинений С. А. Чаплыгина. Целью этой работы было определение давления на пластину, различно искривленную в разных своих частях и имеющую, по возможности, простую геометрическую форму, с тем чтобы по ней выяснить роль разной кривизны частей крыла по сравнению с простейшей пластиной, опирающейся на дугу круга. Для этого Чаплыгин рассматривает обтечение плоскопараллельным потоком двух смыкающихся между собою дуг двух

разных окружностей. Прежде всего, чтобы аналитически описать рассматриваемое течение, область на плоскости комплексного переменного $z = x + iy$, внешняя по отношению к системе двух рассматриваемых дуг окружностей, преобразуется в область Z, где дуги окружностей изобразятся двумя отрезками двух параллельных прямых. Полученную область Z Чаплыгин изображает по бесконечной полосе, ограниченной двумя параллельными прямыми, на плоскости комплексного переменного $u = \xi + i\eta$. После этого он находит комплексный потенциал w, а отсюда — поддерживающую силу P и опрокидывающий момент M. Метод их определения — такой же, каким он всегда пользовался в аналогичных задачах. Численный расчет одного случая показывает, что введение составного крыла такой формы вместо крыла, опирающегося лишь на одну дугу окружности, дает выигрыш в подъемной силе приблизительно в 15%, несмотря на меньшую поверхность составного крыла. В заключение работы показано, как можно построить крыло, для которого рассмотренная в работе составная дужка служит скелетом.

Обширная работа «К теории продувки цилиндров двигателей внутреннего сгорания» (1935) написана С. А. Чаплыгиным в сотрудничестве с проф. В. В. Голубевым и в первую очередь интересна применением к этой задаче теории эллиптических функций. Характер применения к этой задаче теории эллиптических функций с полною ясностью изложен самим Чаплыгиным в следующих словах: «В задачах механики теория эллиптических функций находит, как известно, чрезвычайно широкие применения, но в задачах механики эти функции входят обычно в результате интегрирования уравнений механики, причем их основное свойство, как функций комплексного переменного с некоторым параллелограмом периодов, не получает непосредственного механического приложения. В задачах, рассматриваемых в настоящей работе, эллиптические функции находят себе механическое применение во всей комплексной плоскости, и самый характер механической задачи тесно связан с их двойною периодичностью». Чаплыгин пришел к этому путем следующих рассуждений. Так как гидродинамическая теория течения газов в круговых цилиндрах двигателей внутреннего сгорания представляет громадные, в настоящее время вряд ли преодолимые трудности, то целесообразно дать приближенную теорию этого течения при следующих предположениях, когда эту теорию можно создать:

1) круглый цилиндр заменяется прямоугольным параллелепипедом, впускные и выхлопные окна заменяются щелями, параллельными основанию;

2) газ заменяется идеальною несжимаемою жидкостью;

3) движение жидкости принимается за плоскопараллельное, т. е. ширины цилиндра и щелей принимаются бесконечно большими; таким образом, движение жидкости рассматривается внутри прямоугольника. Оказывается, полученный прямоугольник можно рассмотреть как прямоугольник периодов и изучаемое в нем течение с точечными источником и стоком можно аналитически изобразить через применение эллиптической функции Вейерштрасса. Чаплыгин распространяет анализ также на случай отверстий конечной ширины, на случай продувки через окно, прорезанное в косом направлении, на случай подвижного поршня, на случай цилиндра с перегородкою и т. п. Он показывает также, что к полученным им результатам можно подойти и через применение метода Шварца — Кристофеля для конформных изображений на полуплоскости многоугольных областей. Математически — работа сложная, но и очень интересная; физически же принятая схема явления лишь очень отдаленно изображает действительность.

В работе «О подъемной силе и сопротивлении длинного плоского крыла в предположении срыва с его верхней поверхности» (1933), написанной в сотрудничестве с проф. А. Л. Лаврентьевым, Чаплыгин разыскивает источник силы сопротивления профиля, которую, как известно, циркуляционная теория дать не может. Даже при движении в идеальной жидкости профиль все же может испытывать силу сопротивления, причем эта сила сопротивления обязательно появится при срыве потока с профиля. Следует, однако, заметить, что угол атаки, при котором начинается срыв потока с крыла, называется критическим углом атаки; при полетах не переводят самолет за критический угол атаки. Чаплыгин разыскивает при разных углах атаки изменение поддерживающей силы и силы сопротивления для различных форм обтекания прямолинейного отрезка, зависящих от положения точки срыва потока. Картина явления, рассмотренного Чаплыгиным, состоит в следующем.

Плоскопараллельный поток несжимаемой жидкости, имеющий на бесконечности скорость v_0, образующую угол θ_0 с направлением прямолинейного отрезка DB, в некоторой точке A упирается в этот отрезок,

имея в этой точке скорость нуль. В этой точке струйка разделяется; одна струйка идет вдоль отрезка до его задней точки D, в которой струйка срывается с отрезка; другая струйка идет до передней точки B отрезка, огибает отрезок с бесконечною скоростью в точке B, идет вдоль другой стороны отрезка, с которой срывается в точке C. В точках D и C образуются свободные струи DE и CE, и таким образом за отрезком образуется бесконечная полоса неподвижной жидкости, заключенная между струйками DE и CE. Чаплыгин изображает область, занятую на плоскости комплексного переменного $z = x + iy$ текущею жидкостью, на четверти плоскости комплексного переменного $u = \xi + i\eta$, заключающейся между положительными сторонами действительной и мнимой оси, причем этим полуосям соответствуют оба края DB и BC прямолинейного отрезка DB и свободные струи DE и CE. Изображая функции z и w от u на четверти плоскости переменного u, он находит по своей формуле для проекции силы давления потока поддерживающую силу и силу сопротивления. Результаты вычислений для различных случаев положения точки отрыва и различных углов атаки он сводит в таблицу.

Переходим к изложению идей замечательной работы «О газовых струях», впервые напечатанной в «Ученых записках» Отделения физико-математических наук Московского университета в 1902 г. Эта работа по своему существу шире того названия, которое она имеет; ее можно было бы назвать: «Теория движения газа в двух измерениях», поскольку полученные в ней результаты имеют общий характер. Непосредственно вслед за своим появлением она не нашла продолжателей, так как эта область казалась в то время совершенно отвлеченной, лишенной какого-либо практического значения. Но зато в настоящее время, когда техника дошла до звуковых скоростей и перешла за них, эта работа упоминается и цитируется во всем мире.

Как известно, уравнения в частных производных для потенциала скоростей и для функции тока движения сжимаемого газа не будут линейными, что в высокой степени усложняет изучение движения газа по сравнению с изучением движения несжимаемой жидкости, для которой эти уравнения будут линейными. Моленброк был первым, который показал в 1890 г., что изучение движения газа в плоскости годографа приводит к линейным уравнениям; однако использовать это свойство он не смог. Чаплыгин, воспользовавшись

теми же независимыми переменными, что и Моленброк, пришел к важным результатам.

Пусть уравнение состояния газа определяется формулой $p = k\rho^\gamma$, где p — давление, ρ — плотность газа, γ — отношение теплоемкостей, равное для атмосферного воздуха 1.402, k — постоянный множитель пропорциональности. Далее, пусть будут: v — скорость газа, $\alpha = \frac{k\gamma\rho_0{}^{\gamma-1}}{\gamma-1}$, где плотность ρ_0 постоянна, $\beta = \frac{1}{\gamma-1}$, $\frac{v^2}{2\alpha} = \tau$, θ — угол скорости v с осью абсцисс; тогда

$$\rho = \rho_0 (1-\tau)^\beta.$$

Если φ есть потенциал скоростей, а ψ — функция тока, то после ряда преобразований Чаплыгин получает следующие уравнения движения газа:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\theta} = 2\tau(1-\tau)^{-\beta}\frac{\partial\psi}{\partial\tau},$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\tau} = -\frac{1-(2\beta+1)\tau}{2\tau(1-\tau)}(1-\tau)^{-\beta}\frac{\partial\psi}{\partial\theta},$$

и отсюда

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\left\{2\tau(1-\tau)^{-\beta}\frac{\partial\psi}{\partial\tau}\right\} + \frac{1-(2\beta+1)\tau}{2\tau(1-\tau)}(1-\tau)^{-\beta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\theta^2} = 0.$$

Последнее уравнение имеет частное решение вида

$$\psi_n = z_n \sin(2n\theta + \alpha_n),$$

если будет

$$\frac{d}{d\tau}\left\{\tau(1-\tau)^{-\beta}\frac{dz_n}{d\tau}\right\} - \frac{1-(2\beta+1)\tau}{\tau(1-\tau)}(1-\tau)^{-\beta} n^2 z_n = 0.$$

Подстановка $z_n = \tau^n y_n$, где $n > 0$, приводит это уравнение к следующему гипергеометрическому уравнению:

$$\tau(1-\tau)\frac{d^2y_n}{d\tau^2} + [2n+1+(\beta-2n-1)]\frac{dy_n}{d\tau} + \beta n(2n+1)y_n = 0.$$

Чаплыгин доказывает, что полученные им уравнения решают вопрос о течении газа в той области значений переменных τ, θ, в которой $\tau \leqslant \frac{1}{2\beta+1}$, т. е. скорость текущего газа нигде не должна превышать скорости распространения звука в газе при тех физических условиях,

которые имеют место в рассматриваемой точке. После этого Чаплыгин показывает, что если функция тока ψ_1 текущей несжимаемой жидкости для какой-нибудь задачи может быть представлена разложением

$$\psi_1 = A + B\theta + \Sigma B_n \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n \sin(2n\theta + \alpha_n),$$

то функцию тока ψ текущего газа для той же задачи можно представить разложением

$$\lambda\psi = A + B\theta + \Sigma B_n \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n \frac{y_n}{y_{n,0}} \sin(2n\theta + \alpha_n),$$

где A, B, B_n, λ — постоянные и $y_{n,0}$ представляет значение функции y_n при $\tau = \tau_0$.

Вся эта работа содержит пять глав. В первой главе выводятся основные уравнения и область их применимости; во второй исследуются свойства функций z_n, y_n и доказывается сходимость получающихся рядов для потенциала скоростей и функции тока; в третьей изучается истечение газа из бесконечно широкого сосуда; в четвертой изучается давление газового потока на пластинку и, наконец, в пятой дается приближенная метода решения задач о газовых струях, т. е., как можно утверждать в настоящее время, приближенная метода решения задач вообще на движение газа.

Оказалось, что: 1) при истечении газа из сосуда струя газа расширяется по мере повышения давления в резервуаре до предельного давления, т. е. до такого, при котором скорость вытекающей струи равняется скорости распространения звука в спокойном газе того же физического состояния; 2) тогда как давление жидкого потока на пластинку пропорционально квадрату скорости потока, причем коэффициент пропорциональности есть постоянное количество, для газа этот коэффициент пропорциональности возрастает с увеличением скорости потока, или, точнее, с увеличением квадрата числа Маха, представляющего отношение скорости газового потока к скорости звука в газе при тех же физических условиях. В самом начале пятой главы Чаплыгин вводит функцию

$$\sigma = \int_{\tau}^{\tau_0} \frac{(1-\tau)^\beta}{2\tau}\, d\tau,$$

где τ_0 — максимальное значение τ, соответствующее границе струи. Тогда приведенные выше уравнения движения газа, связывающие между собой потенциал скоростей φ и функцию тока ψ, можно представить в виде

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\theta}=-\frac{\partial\psi}{\partial\sigma}, \qquad \frac{\partial\varphi}{\partial\sigma}=K\frac{\partial\psi}{\partial\theta},$$

где

$$K=\frac{1-(2\beta+1)\tau}{(1-\tau)^{2\beta+1}}.$$

Вычисление показывает, что в пределах скоростей газа от 33 до 136 м/сек количество K близко к единице. В этом случае уравнения движения газа можно заменить приближенно уравнениями

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\theta}=\frac{\partial\psi}{\partial\sigma}, \qquad \frac{\partial\varphi}{\partial\sigma}=\frac{\partial\psi}{\partial\theta},$$

откуда вытекает соотношение

$$w=\varphi+i\psi=F(\sigma+i\theta),$$

дающее возможность ввести в решение задач на движение газа теорию функций комплексного переменного. Это приближение, как было только что указано, пригодно лишь для сравнительно небольших скоростей. В настоящее время, разлагая функцию K в ряд и удерживая лишь первые члены, удалось применить получающиеся упрощенные уравнения для значительно более высоких скоростей.

Уравнения движения газа в переменных τ и θ, получение функции тока ψ для газа из функции тока ψ_1 такой же задачи для несжимаемой жидкости, введение переменного σ и функции K суть те богатые мысли, которые продолжают жить и по настоящее время и приносить обильные плоды.

Таким образом, хотя от некоторых работ С. А. Чаплыгина нас отделяет уже несколько десятков лет, они и в настоящее время нисколько не утратили своего значения и будят мысль современных исследователей, настолько значительны они по своим результатам и методам.

Член-корреспондент АН СССР
Ю. А. Шиманский

РАБОТЫ А. Н. КРЫЛОВА В ОБЛАСТИ КАЧКИ КОРАБЛЯ НА ВОЛНЕНИИ

1. Классические работы А. Н. Крылова в области качки корабля на волнении, создавшие ему мировую известность выдающегося русского ученого-кораблестроителя и сыгравшие исключительно большую роль в развитии учения о мореходных качествах корабля, высоко расцениваются не только с точки зрения возможности их практического использования, но и с точки зрения заложенной в них методологии аналитического разрешения сложных задач, выдвигаемых практикой кораблестроения.

Эти две совершенно различные стороны работ А. Н. Крылова — естественное следствие тех различных целей, которые он преследовал и которые выражены им следующим образом в книге «Качка корабля»:

«Главная цель моих исследований была — дать способы рассчитать движение корабля на волнении, а значит и его мореходные качества»; и затем: «Цель этого цикла состоит в том, чтобы на примерах, взятых из действительной практики, показать приложение математики к решению вопросов из области морского дела и техники вообще».

Главнейшие работы А. Н. Крылова в области качки корабля на волнении, написанные и опубликованные им в разное время, вошли в его книгу «Качка корабля», изданную в 1938 г. [1] Для предварительного озна-

[1] А. Н. Крылов. Качка корабля. Изд. Военно-морской акад. РККФ имени Ворошилова, 1938. В настоящее время эти работы А. Н. Крылова и многие другие его работы, относящиеся к мореходным качествам корабля, подготовляются к печати и войдут в полное собрание его сочинений, издаваемое Акад. Наук СССР.

комления с общим содержанием этих работ и обстоятельствами, сопровождавшими их написание, приведем соответствующую выписку из «Послесловия», помещенного в конце этой книги.

«Учение о качке корабля я начал читать в Морской академии в 1893 г. В то время существовала только теория боковой качки корабля, первоначально данная в 1757 г. Даниилом Бернулли, основанная на ньютоновской теории волнообразного движения воды; но в 1861 г. В. Фруд указал на неправильность теории Бернулли и положил в основу своей теории качки гидродинамическую теорию трохоидальных волн. Теория Фруда была затем развита Ранкиным, Бертеном и другими. Изложение этих исследований и составило то, что обычно излагалось в курсах «теория корабля». Прием слушателей в Академии производился по четным годам, поэтому второй раз мне пришлось читать «качку» только осенью 1895 г., и я тогда в дополнение к курсу 1893 г. разработал теорию «килевой качки на волнении», применив к исследованию этого вопроса, тогда еще никем не затронутого, методы, подобные тем, которые применяли Лагранж и Лаплас в небесной механике при изучении движения планет.

Это исследование было мною доложено в собрании Общества корабельных инженеров весною 1896 г. в Лондоне и помещено в «Трудах» этого общества (Tr. Inst. Nav. Arch., 1896) и затем в Bull. de l'Ass. Techn. Marit.

Это исследование вошло целиком в настоящую книгу.

В третий раз мне пришлось читать курс «качка корабля» в 1897 г. На этот раз я обобщил и видоизменил метод исследования килевой качки и изложил «общую теорию качки корабля на волнении», от которой предыдущие теории составляют частные случаи.

Весной 1898 г. эта общая теория была мною доложена в Лондоне на собрании Общества корабельных инженеров и помещена в «Трудах» этого общества за 1898 г., а также и в Bull. de l'Ass. Techn. Marit.

Это исследование также целиком вошло в настоящую книгу.

В дальнейшем изложение «теории качаний корабля на волнении» не подвергалось существенным изменениям, а лишь дополнялось отдельными вопросами, возникавшими по требованиям практики. Так, в 1907 г. в Черном море производились обширные артиллерийские опыты, и мне было поручено в качестве председателя одной из подкомиссий исследовать вопрос о влиянии качаний корабля на меткость стрельбы. Для этих

исследований была разработана методика фотографической записи качаний корабля, которая и приведена в этой книге. Самое же исследование по своей обширности и как чисто артиллерийское к учению о качке корабля не относится.

В 1909 г. возник вопрос об установке гироскопического успокоителя качки на яхте «Стрела». Тогда мною была разработана подробная теория этого прибора и расчеты его, помещенная в «Морском сборнике» и в Bull. de l'Ass. Techn. Marit., введенная в курс Морской академии и вошедшая в эту книгу

В 1913 г. под моим председательством было произведено на пароходе «Meteor» исследование успокоительных систерн Фраля, теория которых в моей разработке вошла в курс «теории корабля» и помещена в этой книге.

Таким образом, в настоящей книге собраны все упомянутые исследования о качке корабля в том виде, как они последовательно развивались и вводились в курс Морской академии в продолжение 45 лет и приводились в единую систему с другими трудами, главная цель которых состоит в том, чтобы показать, каким образом следует поступать, чтобы конкретные вопросы теории корабля и техники вообще подвергать математической обработке для получения количественно обоснованных выводов».

Для более полного освещения значения этих классических работ А. Н. Крылова и обстоятельств, сопровождавших их появление, может служить следующая выдержка, взятая из его книги «Мои воспоминания» и дополняющая сказанное об этом в приведенном выше «Послесловии».

«В 1895 г. управляющий Морским министерством адмирал Н. М. Чихачев предложил на разрешение вопрос: какой надо иметь запас глубины под килем корабля, чтобы при килевой качке на волнении корабль не касался дна? Этот вопрос возник при постройке Либавского порта; рассмотрение его было поручено Морскому техническому комитету и мне персонально, причем решения требовались независимые одно от другого.

В то время существовала только теория В. Фруда боковой качки корабля, поперечные размеры которого предполагались весьма малыми по сравнению с размерами волны. Очевидно, что эта теория была совершенно неприложима к килевой качке.

У меня этот вопрос был подготовлен для курса; мне оставалось только изложить его применительно к данному случаю, поэтому я представил

80*

свое решение в Главное гидрографическое управление через три дня после получения запроса. Управляющий Морским министерством сам пожелал, чтобы я лично доложил ему это дело. Адмирал Н. М. Чихачев вникал во все подробности так, что мой доклад продолжался около часа.

Я доложил свое исследование в заседании Технического общества, затем перевел краткое изложение своего доклада на французский язык и послал члену Парижской академии наук Guoyou для напечатания в Comptes Rendus, а также в Bull. de l'Ass. Techn. Marit.

Но наиболее авторитетное научное общество по кораблестроению — английское Общество корабельных инженеров (Institution of Naval Architects), заседания которого для заслушивания научных докладов происходят ежегодно в конце марта. Я изложил подробно свой доклад о килевой качке по-английски, отправил его через члена общества Э. Е. Гуляева в Совет I. N. A. Доклад был принят и оттиски его приготовлены к заседанию, на которое и был я командирован для прочтения этого доклада.

Доклад мой прошел с большим успехом. В прениях я заслужил одобрение таких авторитетов, как Е. Рид, В. Уайт, Р. Фруд, профессор Гринхиль, причем последний выразил пожелание, чтобы я рассмотрел и общий вопрос о качке корабля на волнении при косвенном курсе корабля относительно гребней волн. Это было мною исполнено в 1898 г. Я снова был командирован в Лондон для прочтения доклада под заглавием «Общая теория колебаний корабля на волнении».

Доклад имел еще больший успех и был удостоен редкого отличия — золотой медали Общества I. N. A. Оба эти доклада вошли затем в мой курс теории корабля, читаемый мною в Морской академии».

Свою научную работу в области качки корабля Крылов продолжал и после написания указанных выше капитальных трудов, причем его последующие исследования в этой области были посвящены в основном вопросам, связанным с успокоением боковой качки корабля на волнении. Разработанная им теория пассивных систерн Фрама, предназначенных для успокоения бортовой качки корабля, представляет собой исчерпывающее аналитическое решение рассматриваемой сложной задачи, значительно более строгое и более полное, чем даваемое теорией Фрама.

Эта работа Крылова помещена в вышедшей в 1942 г. его книге «О боковой качке корабля». В этой же книге помещены и два других солидных исследования о бортовой качке корабля, в которых излагаются различные

методы численного решения сложных дифференциальных уравнений бортовой качки с учетом сопротивления воды и, в частности, использование для этой цели таблиц, составленных Орегонским университетом под руководством профессора Мильна по поручению и на средства артиллерийского ведомства США и изданных в двух частях под заглавием «University of Oregon publications Math. Series».

Заканчивая на этом краткий обзор научных работ А. Н. Крылова в области качки корабля на волнении, перейдем к вопросу об их роли и значении в общем развитии учения о мореходных качествах корабля.

2. Корабль, находясь на взволнованном море, испытывает бортовую и килевую качку, величина и характер которой определяются ее амплитудой, т. е. наибольшим ее размахом и степенью плавности качки, зависящей от периода, т. е. продолжительности времени между отдельными размахами.

Чем меньше, при одинаковом состоянии моря, амплитуда качки и чем выше степень ее плавности, тем лучше мореходные качества корабля с точки зрения условий его использования. Большая и стремительная качка корабля неблагоприятно отражается на самочувствии находящихся на нем людей. Такой корабль не может успешно использоваться для перевозки пассажиров. На военном корабле большая и стремительная качка не только затрудняет, но при известных условиях может совершенно лишить возможности использовать его артиллерийское вооружение. На быстроходных военных кораблях большая килевая качка, кроме того, сильно сказывается на уменьшении скорости хода; такая качка может сопровождаться заливанием водой носовой части корабля и оголением гребных винтов в его кормовой части, в результате чего ход корабля против волны окажется сильно затрудненным.

Это явление, наиболее вероятное при большой скорости корабля против волны, наблюдается в случае образования неблагоприятной в этом отношении разницы в фазах качки корабля и волнообразного перемещения волновой поверхности.

Величина и характер качки корабля на волнении зависят не только от величины и характера возбуждающих качку волн, но и от размеров корабля, формы его корпуса, распределения на корабле грузов по его длине и высоте, а также от скорости хода корабля и направления его хода относительно направления волн. Эта многосторонняя зависимость

настолько сложна, что ее аналитическое исследование в целях предвидения мореходных качеств проектируемого корабля долгое время казалось практически неосуществимым.

Такое безнадежное, казалось, положение, сохранявшееся вплоть до появления работ А. Н. Крылова в области качки корабля на волнении, иллюстрируется следующими словами одного из основоположников учения о качке корабля — В. Фруда: «Когда вновь построенный корабль выходит в море, то его строитель следит за его качествами на море с душевным беспокойством и неуверенностью, как будто бы это был воспитанный и выращенный им зверь, а не им самим обдуманное и исполненное сооружение, качества которого должны быть ему наперед известны в силу самих основ, положенных при составлении проекта».

В своем классическом труде «О боковой качке корабля» (1861) В. Фруд дал приближенную теорию чисто бортовой качки корабля, сделав при этом упрощающие допущения об отсутствии сопротивления воды и приняв размеры корабля пренебрежимо малыми по сравнению с размерами волны, а профиль волны синусоидальным, а не трохоидальным, каким он есть в действительности. Последнее из этих допущений он оправдывает следующими словами: «Я не был в состоянии преодолеть математические трудности, которые встречаются при таком предположении, но я не оставляю надежды на возможность успеха в такой попытке».

Хотя приближенная теория бортовой качки корабля В. Фруда вследствие сделанных в ней больших допущений оказалась не вполне применимой к действительным условиям бортовой качки корабля на волнении, тем не менее она была большим шагом вперед в развитии учения о бортовой качке корабля и послужила исходной базой для ряда исследований таких известных ученых, как Бертен, Сен-Венан, Ранкин, Скотт-Россель, Фруд младший.

Однако все эти исследования, имевшие целью уточнение приближенной теории В. Фруда при отказе от тех или иных принятых в ней допущений, все же недостаточно учитывали действительные условия качки корабля на волнении и во всяком случае гораздо менее полно, чем это удалось сделать Крылову в разработанной им в 1898 г. классической общей теории качки корабля на волнении. Из теории бортовой качки Крылова можно легко получить в виде частных случаев результаты всех

производившихся до него исследований, в том числе и приближенной теории В. Фруда, и таким путем сделать правильную оценку влияния принимавшихся в этих исследованиях различных упрощающих допущений.

Большая ценность научных работ Крылова в области бортовой качки корабля заключается также в том, что в них даются достаточно простые, иллюстрируемые численными примерами методы практического расчета бортовой качки корабля при любой наперед заданной действующей на него системе волн и при таком законе сопротивления воды, который легко может быть найден по результатам соответствующих модельных или натурных испытаний корабля.

Из изложенного видно, что в области учения о *бортовой* качке корабля на волнении Крылов с исчерпывающей полнотой развил и обобщил имевшиеся уже до него многие исследования в этой области. Успешно преодолев все встретившиеся при этом трудности, он разработал соответствующие методы практического расчета бортовой качки корабля на волнении с достаточно точным учетом главнейших определяющих ее факторов.

В непосредственной связи с учением о бортовой качке корабля на волнении находится проблема умерения этой качки путем оборудования корабля специально предназначенным для этого устройством, противодействующим усилиям, вызывающим бортовую качку корабля на волнении (гироскопические стабилизаторы системы Шлика и Сперри, пассивные и активные систерны Фрама и др.). Сложность расчета таких умеряющих качку устройств и регулирующих их работу приборов долгое время была одной из причин, затруднявших их практическое использование и ограничивающих их достаточно широкое применение, несмотря на несомненные преимущества, которые во многих случаях могли бы быть реализованы при установке на кораблях этих устройств. Заслуга Крылова в этой области заключалась в разработке подробной теории расчета этих устройств, благодаря чему были устранены препятствия на пути к достаточно широкому внедрению их в современную практику судостроения.

Переходя к рассмотрению его работ, относящихся к исследованиям *килевой* качки корабля на волнении, нужно прежде всего отметить, что величина и характер этой качки определяют не только мореходные

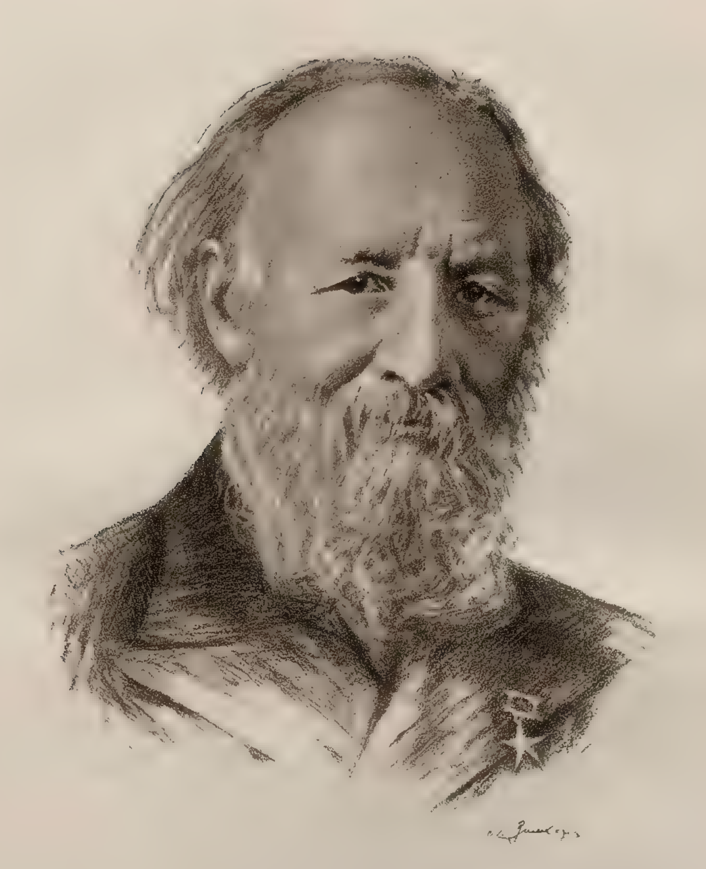
качества корабля, о чем уже было сказано выше, но и те усилия, которым подвергается корпус корабля на волнении и на действие которых должна быть рассчитана его прочность. Это станет понятным, если учесть, что при килевой качке на корпус корабля действуют не только силы веса корабля и силы давления воды, криволинейный уровень которой по отношению к качающемуся кораблю все время меняется, но и силы инерции, возникающие вследствие поступательных и вращательных перемещений корабля при его килевой качке.

Первые исследования килевой качки корабля Эйлера, опубликованные им в 1759 г., и исследования Рида в 1870 г. имели своей целью именно определение усилий, действующих на корпус корабля при его килевой качке. Однако слишком большие трудности, встретившиеся при аналитическом разрешении этой задачи, оказались в то время непреодолимыми. Поэтому для определения этих усилий Ридом был предложен упрощенный метод расчета, так называемый метод «постановки корабля на волну по Риду».

В труде Рида, посвященном исследованию этой задачи, следующим образом выражены трудности, связанные с ее более точным аналитическим решением:

«В попытках приближенно определить срезывающие и изгибающие усилия, действующие на корабль на море, мы встречаемся с большими трудностями; вопрос этот при настоящем состоянии знаний не допускает полного и точного решения; можно даже выразить сомнение в том, что весьма разнообразные и постоянно изменяющиеся усилия, действующие на корабль на волнении, когда-либо будут полностью выражены математическим языком и рассчитаны с той же степенью точности, как уже изученные усилия, действующие на тихой воде. Есть, однако, возможность расчленить главнейшие причины напряжений и во многих случаях указать приближенно предельные их значения, как это сделано ниже.

Что же касается динамической части вопроса, хотя она и самая важная, в настоящее время ее решение выше наших сил, в особенности в том, что касается количественной оценки. Что это именно так, будет очевидно, если бросить самый беглый взгляд на те условия, в которых находится корабль на волнении. Пренебрегая, для простоты, боковой качкой и предполагая, что корабль идет как раз в разрез волны, мы



А. Крылов

найдем, что прохождение каждой волны по его длине вызывает или стремится вызвать вертикальное поступательное перемещение корабля как твердого тела и вращательное движение, или килевую качку, около его поперечной оси, производя вместе с тем и беспрестанные перемены в относительном распределении пловучести и веса.

Характер вертикального движения корабля и килевой качки может быть указан в общих чертах; но выразить точно скорость этого движения и соответственные ускоряющие силы, а также исчислить напряжения, происходящие от беспрестанных ударов волны, я не имел смелости даже и попытаться.

Вдобавок к этому надо еще считаться с действием последовательных волн (далеко не однообразных по размерам и периоду), а также с влиянием собственного хода корабля. Таким образом, мы имеем перед собой весьма сложный вопрос, которого можно только коснуться приближенными методами, о которых я и буду говорить».

Приближенный метод Рида основан на пренебрежении влиянием сил инерции, т. е. на предположении, что силы веса корабля полностью статически уравновешиваются силами давления воды при положении корабля на вершине или на подошве волны. Такое состояние корабля, очевидно, будет полностью отвечать действительности, если представить себе корабль идущим по направлению бега волны со скоростью, равной скорости волны. В этом случае форма волновой поверхности по отношению к движущемуся кораблю не будет изменяться и, следовательно, корабль не будет испытывать килевой качки, а потому не будет подвергаться и действию инерционных усилий.

При всякой иной скорости хода корабля он будет испытывать килевую качку, при которой действующие на него усилия могут превзойти усилия, получающиеся при рассматриваемом Ридом частном случае состояния корабля на волнении.

Несмотря на то, что приближенный метод Рида не давал ответа на вопрос, каковы в действительности наибольшие усилия, действующие на корабль при килевой качке на волнении, он тем не менее благодаря своей большой простоте и наглядности нашел широкое применение в мировой практике судостроения, оставаясь до появления работ Крылова единственным практически доступным средством для расчета прочности корпуса морских кораблей. С появлением работ Крылова оказалось

возможным сделать не только качественную, но и количественную оценку метода Рида и в соответствующих случаях заменить его более совершенным «расчетом килевой качки корабля по Крылову». Таким образом, разработанная Крыловым теория килевой качки корабля на волнении явилась большим достижением не только в области учения о мореходных качествах корабля, но и в области учения о прочности корабля, наряду с многими другими его трудами, специально посвященными исследованию вопросов строительной механики корабля.

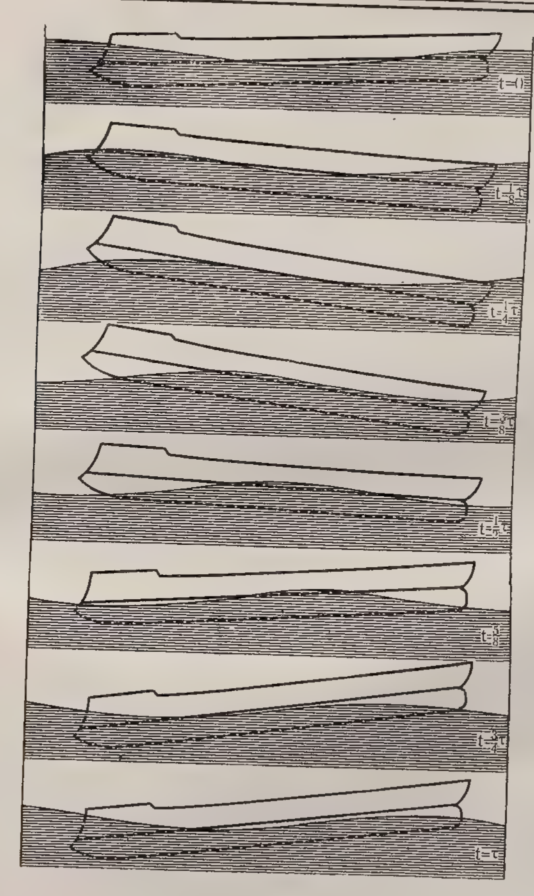
Теория килевой качки Крылова дала возможность с достаточной для практики точностью исследовать килевую качку корабля, идущего с любой скоростью и по любому направлению по отношению к направлению бега заданной системы волн, т. е. найти его поступательные и вращательные перемещения в функции времени и, следовательно, построить последовательные положения, которые занимает корабль относительно волновой поверхности во время его килевой качки.

В качестве иллюстрации к практическому применению этой теории на фиг. 1 показаны полученные расчетом положения корабля при его килевой качке через промежутки времени, равные $^1/_8$ доли полного периода этой качки, применительно к численному примеру, помещенному в книге «Качка корабля».

С помощью таких расчетов можно выявить степень и характер влияния на килевую качку проектируемого корабля главнейших определяющих ее факторов и соответствующим изменением элементов этого корабля улучшить его мореходные качества.

Эти расчеты показывают, что условия килевой качки корабля на волнении в большой степени зависят от разницы в фазах этой качки и волны и что изменение этой разницы в благоприятную сторону может быть достигнуто на плавающем корабле не только изменением величины или направления его скорости хода, но и изменением его дифферента, т. е. заполнением или опорожнением на нем соответствующих балластных цистерн.

Таким образом, разработанная Крыловым теория килевой качки корабля на волнении, помимо ее большого чисто теоретического интереса, может найти и практическое применение как при проектировании, так и в процессе эксплоатации морских кораблей в направлении улучшения их мореходных качеств.



$t=0$
$t=\frac{1}{8}\tau$
$t=\frac{1}{4}\tau$
$t=\frac{3}{8}\tau$
$t=\frac{1}{2}\tau$
$t=\frac{5}{8}$
$t=\frac{3}{4}\tau$
$t=\tau$

Фиг. 1

На основании всего сказанного выше, можно сделать заключение, что основная заслуга А. Н. Крылова в области учения о качке корабля заключается в создании им теории *килевой* качки корабля и в существенном усовершенствовании старой фрудовской теории *бортовой* качки корабля на волнении. Обе эти капитальные работы, а также и другие его работы в этой области, в частности работы по вопросу об успокоении бортовой качки корабля на волнении, представлены им в виде, легко доступном для непосредственного использования в кораблестроении.

3. Переходя к методологической стороне работ Крылова в области качки корабля, нужно прежде всего отметить их отличительную черту, свойственную и всем другим его работам и заключающуюся в исключительно стройном сочетании в них строгого, чисто аналитического метода исследования рассматриваемых задач с своеобразными приемами их практического решения, которые наиболее быстро и просто приводят к нужным результатам. Получаемые результаты облекаются в форму, наиболее удобную для их практического использования, которое еще более облегчается подробными численными примерами решения этих задач.

Благодаря такому стилю работ они, несмотря на их значительную и неизбежную математическую громоздкость, оказываются все же легко доступными для рядовых инженеров-практиков, давая в этом отношении поучительный пример надлежащего приложения математического анализа к решению наиболее сложных вопросов инженерной практики.

Не имея возможности хотя бы кратко изложить здесь разработанную Крыловым общую теорию качки корабля на волнении, остановимся лишь на основных допущениях и на некоторых своеобразных приемах, которые применил Крылов в этой работе и которые позволили ему успешно преодолеть все встретившиеся в ней трудности.

Основное допущение, принятое Крыловым при разработке общей теории качки корабля на волнении, заключалось в предположении, что давление воды на подводную поверхность корабля остается таким же, как и в соответствующих точках трохоидальной волны; иначе говоря, предполагается, что присутствие корабля нисколько не изменяет характера движения воды, определяемого теорией трохоидальных волн. Относительно величины вносимой этим допущением погрешности можно лишь сказать, что она зависит от отношения размеров корабля к размерам волны, увеличиваясь с увеличением этого отношения. Делая такое

допущение, Крылов дает ему следующую оценку: «Эта гипотеза, представляющая обобщение фрудовской, — единственная, которая нужна для нашей теории. Результаты фрудовской теории боковой качки, подтвержденные опытом, показывают, что эта гипотеза достаточно близка к истине, особенно для практических целей».

Некоторые другие допущения, принятые им при разработке теории качки корабля, рассматриваются и оцениваются им более подробно, причем влияние наиболее существенных из них учитывается в виде последующих поправок, вводимых в результаты.

Что касается своеобразных приемов при исследовании качки корабля на волнении, то прежде всего следует отметить сделанный им удобный выбор эйлеровых углов, определяющих вращательные перемещения корабля и названных им «корабельными» углами. Преимущество таких углов, помимо их ясного физического смысла, заключается в том, что они упрощают дифференциальные уравнения качки корабля и дают возможность при решении этих уравнений применять разложение в ряды и метод последовательных приближений. Составив дифференциальные уравнения качки корабля, Крылов отмечает их полную аналогию с уравнениями возмущенного движения небесных тел и для их интегрирования пользуется приемом последовательных приближений, применяемым в небесной механике.

В своих работах в области качки корабля на волнении Крылов широко использует средства математического анализа, развитые им самим в своих трудах в области прикладной математики и механики или известные ему из работ в области небесной механики и в других областях науки и техники. В частности, представляет большой интерес подробно разработанное им применение для исследования бортовой качки корабля метода Адамса — Штермера численного интегрирования дифференциальных уравнений, а также использование для той же цели таблиц Мильна и других математических приемов, излагаемых и иллюстрируемых подробными численными примерами в книге «О боковой качке корабля», изданной в 1942 г.

Созданная Крыловым в 1896 г. теория килевой качки корабля на волнении и все последующие работы его в области качки корабля на волнении остаются непревзойденными образцами глубокого аналитического исследования сложных инженерных задач, доведенного до практического решения. Эти работы до настоящего времени полностью сохраняют

практическое значение и теоретический интерес и служат тем монументальным фундаментом, на основе которого протекает дальнейшее развитие и усовершенствование теоретических и экспериментальных исследований в области качки корабля на волнении.

Будучи замечательным экспериментатором, Крылов придавал преимущественное значение именно экспериментальному направлению дальнейших изысканий в области улучшения мореходных качеств корабля, учитывая те большие возможности, которые сделались доступными после его ранних теоретических исследований в этой области.

Что касается дальнейших теоретических исследований в области качки корабля на волнении, то они могут протекать или в направлении упрощения теории, данной Крыловым, или, обратно, в направлении ее уточнения, т. е. усложнения за счет отказа от тех или иных принятых в ней допущений. Однако возможности первого из этих двух направлений оказываются уже почти полностью исчерпанными не только работами самого Крылова, давшего наряду с общей теорией качки корабля и ее приближенное и простое видоизменение, но и исследованиями проф. А. Фан-дер-Флита.[1]

Таким образом, остается второе из этих двух направлений, возможности и границы которого могут, вообще говоря, беспредельно расширяться по мере развития соответствующих областей наших знаний, в особенности гидродинамики, с которой непосредственно связано отмеченное ранее основное допущение Крылова относительно величины гидродинамического давления воды на подводную поверхность корабля.

Своими работами в области качки корабля Крылов преследовал цель получить достаточно строгие и достаточно простые решения, по своей точности удовлетворяющие потребностям практики. Именно с этой точки зрения он оценивал все принятые им при построении своей теории различные упрощающие допущения. Поэтому дальнейшие попытки как-либо «углубить» или «уточнить» разработанные Крыловым теории путем отказа от того или иного принятого в этих теориях упрощающего допущения не должны рассматриваться как развитие или усовершенствование этих теорий, поскольку это неизбежно должно будет привести к их усложнению и отрыву от потребностей практики.

[1] Проф. А. Фан-дер-Флит. Теория корабля, ч. III, Пг., 1916.

Член-корреспондент АН СССР
В. В. Соколовский
и доктор технических наук
Г. С. Шапиро

МЕТОДЫ Б. Г. ГАЛЕРКИНА В ТЕОРИИ УПРУГОСТИ



ногочисленные научные исследования Бориса Григорьевича Галеркина (1871—1945), выдающегося ученого и инженера, посвящены развитию важного раздела механики — теории упругости, изучающей равновесие и движение упругих тел и дающей возможность решать важные технические задачи о выборе прочных размеров сооружений и машин.

Равновесие упругого тела описывается двумя системами уравнений. Одна система устанавливает равновесие каждого бесконечно малого объемного элемента внутри тела и неразрывность таких элементов под действием внутренних сил, другая выражает собой равновесие каждого бесконечно малого элемента, примыкающего к границе тела под действием внутренних и внешних сил.

Система дифференциальных уравнений, описывающих упругое равновесие внутри тела, выраженная в компонентах напряжения, состоит из трех уравнений равновесия и трех уравнений неразрывности; эта же система, выраженная в компонентах смещения u, v, w, сводится к уравнениям Ламе (X, Y, Z — компоненты объемных сил):

$$\nabla^2 u + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{X}{G} = 0,$$

$$\nabla^2 v + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\theta}{\partial y} + \frac{Y}{G} = 0, \qquad \theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\nabla^2 w + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\theta}{\partial z} + \frac{Z}{G} = 0,$$

где G — модуль сдвига, ν — коэффициент Пуассона.

Решение задач об упругом равновесии, устанавливаемом столь сложной системой дифференциальных уравнений, представляет большие математические трудности. Значительные упрощения могут быть достигнуты при рассмотрении напряженного состояния тел, у которых одно измерение значительно больше или меньше, чем два других измерения. При этом могут быть введены упрощающие гипотезы, учитывающие указанные особенности рассматриваемых тел, что дает возможность уменьшить число и упростить вид дифференциальных уравнений, описывающих равновесие этих тел. К телам, у которых одно измерение значительно больше двух других, относится балка; к телам, у которых одно измерение значительно меньше двух других, — пластинка.

Дифференциальное уравнение, описывающее форму изогнутой средней линии балки, подверженной действию поперечной нагрузки интенсивности p

$$EI\,\frac{d^4 w}{dx^4} = p,$$

где EI — жесткость балки при изгибе, получено в предположении, что плоскости, нормальные к оси балки до изгиба, остаются и после изгиба плоскостями, нормальными к средней линии балки (гипотеза о плоских сечениях).

Дифференциальное уравнение, описывающее форму изогнутой средней поверхности пластинки, подверженной действию поперечной нагрузки интенсивности p

$$B\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\,\partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right) = p,$$



где B — жесткость пластинки при изгибе, получено в предположении, что прямые линии, нормальные к средней плоскости пластинки до изгиба, остаются и после изгиба прямыми и нормальными к средней поверхности пластинки (гипотеза о прямолинейных элементах).

Б. Г. Галеркину принадлежит заслуга разработки эффективных методов точного и приближенного интегрирования уравнений теории упругости. Эти методы открыли новые направления в теории упругости, которые еще многие годы будут разрабатываться его учениками и последователями.

Ниже будут затронуты лишь три метода: метод приближенного решения краевых задач, метод решения задач об изгибе пластинок и метод решения пространственных задач теории упругости.

1. Метод приближенного решения краевых задач. Метод приближенного решения краевых задач, предложенный Б. Г. Галеркиным (1915), находится в тесном взаимоотношении с методом В. Ритца, но имеет по сравнению с последним большие преимущества, обладая большей общностью и простотой.

Идея метода Галеркина может быть проиллюстрирована на примере приближенного решения уравнений пространственной задачи теории упругости, как это сделано Р. Граммелем и Ц. Бизано. Для приближенного решения этой задачи смещения задаются в виде рядов

$$u=U_0(x, y, z)+\sum_{k=1}^{n} a_k U_k(x, y, z),$$

$$v=V_0(x, y, z)+\sum_{k=1}^{n} b_k V_k(x, y, z),$$

$$w=W_0(x, y, z)+\sum_{k=1}^{n} c_k W_k(x, y, z)$$

так, чтобы функции U_0, V_0, W_0 совпадали с значениями смещений на той части поверхности, где последние заданы, а функции U_k, V_k, W_k были линейно независимы, дифференцируемы и обращались в нуль на той же части поверхности.

Вычисление работы объемных и поверхностных сил на возможных перемещениях дает возможность получить для определения неизвестных коэффициентов a_k, b_k, c_k следующие n уравнений

$$\iiint \left[\nabla^2 u + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{X}{G}\right] U_k \, dx\, dy\, dz =$$

$$= \iint \left[2\left(\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\nu}\theta\right)\cos(n, x) + \gamma_{xy}\cos(n, y) + \gamma_{xz}\cos(n, z)\right] U_k \, dS$$

и $2n$ уравнений аналогичного вида.

Очень удобно применение метода Галеркина к задаче об изгибе пластинок и оболочек.

Для приближенного решения задачи об изгибе пластинки вертикальное смещение w задается в виде ряда

$$w = \Sigma a_n \varphi_n(x, y)$$

так, чтобы функции φ_n удовлетворяли условиям на краях.

Подстановка этого выражения в уравнение изгиба пластинки, умножение обеих частей равенств на $\varphi_k \, dx \, dy$ и интеграция по всей площади пластинки приводят к n уравнениям вида

$$B\,\Sigma a_n \iint \nabla^2 \nabla^2 \varphi_n \varphi_k \, dx\, dy = \iint p \varphi_k \, dx\, dy,$$

из которых определяются коэффициенты a_n.

Особенно широкое распространение метод Галеркина получил за последние десять лет, когда выяснилась возможность его применения при решении задач вариационного исчисления и математической физики, а также при решении различных функциональных уравнений.

Для решения дифференциального уравнения в частных производных от двух аргументов $L(u) = 0$ при некотором (для определенности однородном) граничном условии искомая функция ищется в виде

$$u_n(x, y) = \sum_{k=1}^{n} C_k \varphi_k(x, y),$$

где φ_k — известные функции, удовлетворяющие тому же граничному условию.

Требование тождественного обращения в нуль для $L(u)$ заменяется более слабым требованием ортогональности $L(u_n)$ ко всем функциям $\varphi_k(x, y)$. Тогда для определения постоянных c_k имеют место n уравнений

$$\iint L(u_n)\,\varphi_k\,dx\,dy = 0.$$

Интересное видоизменение метода Галеркина дано Л. В. Канторовичем, который свел приближенное решение уравнения в частных производных к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для решения дифференциального уравнения в частных производных от двух аргументов $L(u) = 0$ при некотором условии на контуре искомая функция ищется в виде

$$u_n(x, y) = \sum_{k=1}^{n} \varphi_k(x, y)\, f_k(x) + \varphi_0(x, y),$$

где φ_k — известные функции, а φ_0 удовлетворяет контурному условию. Функции $f_k(x)$ произвольны, но обращаются в нуль при тех значениях x, для которых $\varphi_k(x, y)$ на контуре отличны от нуля.

Требование тождественного равенства нулю $L(u)$ заменяется более слабым требованием ортогональности $L(u_n)$ ко всем функциям $\varphi_k(x, y)$, которое дает n уравнений

$$\int L(u_n)\,\varphi_k\,dx = 0.$$

Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений и граничных условий служит для определения функций $f_k(x)$.

Математическому обоснованию метода Галеркина посвящен ряд исследований, наибольший интерес из которых представляет работа М. В. Келдыша. Выяснение сходимости процесса сводится в этих работах к изучению бесконечных систем линейных уравнений.

Распространение метода Галеркина в настоящее время весьма велико. Являясь одним из наиболее популярных методов приближенного решения разнообразных задач механики, он широко применяется в задачах о кручении и изгибе стержней, в задачах об устойчивости и колебаниях упругих тел, в задаче о флаттере крыла самолета и т. д. По справедливому

мнению английского механика В. Дункана, «едва ли можно встретить механическую проблему, касающуюся упругих или деформируемых тел, к которой нельзя было бы с успехом приложить метод Галеркина».

2. Метод решения задач об изгибе пластинок. Метод решения задач об изгибе пластинок, разработанный Б. Г. Галеркиным на протяжении ряда лет (1915—1933), представляет собой крупнейший вклад в техническую теорию изгиба пластинок.

Для интегрирования уравнения изгиба пластинки вертикальное смещение средней поверхности w представляется в виде суммы двух функций $f(x, y)$ и $\Phi(x, y)$, из которых первая есть частное решение неоднородного уравнения изгиба пластинки, а вторая — общее решение однородного уравнения. Особый интерес представляет выбор частного решения $f(x, y)$ дифференциального уравнения изгиба пластинки, который позволяет во всех случаях получить решение для $\Phi(x, y)$ в виде быстро сходящихся ординарных рядов, неопределенные коэффициенты которых находятся из условий по краям пластинки.

Идею выбора функции $f(x, y)$ можно проследить на примере изгиба прямоугольной пластинки в предположении, что нагрузка p зависит лишь от одной координаты x. Рассматриваемая функция определяется при этом из обыкновенного дифференциального уравнения изгиба балки

$$EI\frac{d^4 f}{dx^4}=p,$$

а неопределенные коэффициенты находятся из условий на контуре пластинки.

Если два параллельных края прямоугольной пластинки $x=\pm a$ свободны, то на этих краях $f=\frac{d^2 f}{dx^2}=0$ и уравнение упругой поверхности пластинки имеет вид

$$w=f(x)+\Sigma\left(A_n\operatorname{ch}\frac{n\pi y}{2a}+B_n\operatorname{sh}\frac{n\pi y}{2a}+C_n y\operatorname{ch}\frac{n\pi y}{2a}+\right.$$
$$\left.+D_n y\operatorname{sh}\frac{n\pi y}{2a}\right)\sin\frac{n\pi(a+x)}{2a}.$$

В практически интересных случаях нагрузка может быть представлена алгебраической целой функцией координат, тогда частное решение уравнения изгиба пластинки также может быть найдено в виде целой алгебраической функции.

Около тридцати работ, опубликованных Б. Г. Галеркиным по теории изгиба пластинок, содержат решения задач о пластинках, имеющих формы прямоугольника, треугольника, эллипса, кругового сектора и кругового прямоугольника, при различных условиях закрепления их краев и при самых разнообразных нагрузках. Эти результаты представляют собой ценный вклад в техническую теорию изгиба пластинок и делают ее автора одним из творцов этой теории.

Исследования Б. Г. Галеркина в области теории пластинок привели его к вопросу о пределах применимости полученных результатов. Возник вопрос о том, какова наибольшая относительная толщина (отношение толщины к наименьшему пролету) пластинки, при которой применение уравнений изгиба, выведенных для тонких пластинок, допустимо. Решение этого вопроса в рамках теории пластинок невозможно. Отсюда и появилась необходимость создания теории изгиба толстых плит. Для построения этой теории, имеющей и непосредственные важные технические приложения (например, в гидротехническом строительстве), следовало разработать эффективный метод решения трехмерных задач теории упругости, что и было с успехом выполнено Б. Г. Галеркиным.

3. Метод решения пространственных задач теории упругости. Метод эффективного решения пространственных задач теории упругости путем введения трех бигармонических функций, предложенный Б. Г. Галеркиным (1930), представляет собою крупное достижение в теории упругости. Идеи этого метода восходят к Д. Эри (1862), заметившему, что дифференциальные уравнения равновесия плоской задачи теории упругости в компонентах напряжения удовлетворяются, если эти компоненты выразить через частные производные второго порядка одной и той же функции. Условие неразрывности при отсутствии объемных сил налагает на функцию Эри требование, чтобы она удовлетворяла бигармоническому уравнению

$$\nabla^4 F = 0.$$

Естественным обобщением метода Эри для пространственной задачи теории упругости является выражение шести компонент напряжения также через одну функцию. Однако такое представление не является общим и пригодно лишь в частных случаях.

Общее же решение пространственной задачи теории упругости требует введения трех функций, удовлетворяющих некоторым условиям. Различные системы таких трех функций, предложенные Ж. Максвелом (1870) и Г. Морера (1892), отличаются существенным недостатком — они связаны мало удобными дифференциальными зависимостями.

Б. Г. Галеркину удалось получить классические представления для компонент напряжения и смещения через три функции. Формулы Галеркина для компонент смещения имеют вид

$$u = 2(1-\nu)\nabla^2\Phi_1 - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial\Phi_1}{\partial x} + \frac{\partial\Phi_2}{\partial y} + \frac{\partial\Phi_3}{\partial z}\right),$$

$$v = 2(1-\nu)\nabla^2\Phi_2 - \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial\Phi_1}{\partial x} + \frac{\partial\Phi_2}{\partial y} + \frac{\partial\Phi_3}{\partial z}\right),$$

$$w = 2(1-\nu)\nabla^2\Phi_3 - \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial\Phi_1}{\partial x} + \frac{\partial\Phi_2}{\partial y} + \frac{\partial\Phi_3}{\partial z}\right).$$

Условия неразрывности Бельтрами — Митчела для компонент напряжения или уравнения Ляме для компонент смещения при отсутствии объемных сил налагают на три функции Галеркина требование, чтобы они удовлетворяли бигармоническим уравнениям

$$\nabla^4\Phi_1 = 0, \qquad \nabla^4\Phi_2 = 0, \qquad \nabla^4\Phi_3 = 0.$$

Блестящий пример применения трех бигармонических функций для решения частных задач дают исследования Б. Г. Галеркина по теории толстых плит прямоугольной, круговой и секториальной форм. Задание выражений для функций напряжений в форме рядов дает возможность получить точные решения дифференциальных уравнений теории упругости, строго удовлетворяющие краевым условиям на верхней и нижней граничных плоскостях; остающаяся при этом некоторая свобода в выборе произвольных постоянных используется для частичного удовлетворения в смысле принципа Сен-Венана краевым условиям на боковой поверхности плиты.

Вычисления, выполненные Б. Г. Галеркиным с целью выяснения вопроса о пределах применимости теории изгиба пластинок, показали, что последняя дает очень хорошие результаты, пока отношение толщины к наименьшему другому размеру плиты меньше одной десятой, и может быть использовано, пока это отношение не превышает одной трети.

Применение метода трех бигармонических функций дало возможность получить точные решения задач о равновесии полого цилиндра и полого шара.

Метод Галеркина решения задач теории упругости с помощью трех функций получил быстрое развитие и усовершенствование у нас и за границей, причем была устранена излишняя общность решения и показана возможность представления общего интеграла уравнений теории упругости через три гармонические функции. Это обстоятельство, указанное С. А. Гершгориным, П. Ф. Папковичем и Г. Нейбером (1931—1934), было строго обосновано совсем недавно Л. Н. Тер-Мкртичьяном и Д. И. Шерманом.

Применение метода трех функций позволило рассмотреть задачи о сжатии, изгибе, кручении полого кругового конуса силой и парой, приложенными к вершине, а также большое число вопросов о концентрации напряжений вокруг разного рода отверстий, выкружек и вблизи контакта упругих тел.

Метод Галеркина удалось обобщить на динамические задачи теории упругости и приложить его к теории систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Недавно предложено также обобщение метода Галеркина на случай многомерного однородного и изотропного упругого тела и рассмотрен ряд интересных вопросов, касающихся приложений этого метода к конкретным задачам. В частности, рассмотрена важная задача о действии сосредоточенной силы, приложенной в точке, расположенной внутри полупространства.

В заключение укажем на характерную особенность всех работ Б. Г. Галеркина — на сжатость их изложения. Отсутствие промежуточных выкладок и рассуждений сильно затрудняет рассмотрение этих исследований. Некоторые результаты удалось уяснить до конца лишь в последнее время благодаря работам А. И. Лурье.

Наследие Б. Г. Галеркина, насыщенное ценными идеями, представляет широкую область для научных изысканий его учеников.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Х. Арутюнян.* Приближенное решение задач о кручении стержней. Прикл. матем. и мех., 1942, № 1.
2. *Б. Г. Галеркин.* Стержни и пластинки. Вестн. инженеров, 1915, № 19.
3. *Б. Г. Галеркин.* К вопросу об исследовании напряжений и деформаций в упругом изотропном теле. ДАН СССР, 1930, сер. А.
4. *Б. Г. Галеркин.* К исследованию напряжений и деформаций в толстой прямоугольной плите. Изв. Научно-иссл. ин-та гидротехн., т. 6, 1932.
5. *Б. Г. Галеркин.* Общее решение задачи о напряжениях и деформациях в толстой круглой плите и плите в виде кругового сектора. Изв. Научно-иссл. ин-та гидротехн., т. 7, 1932.
6. *Б. Г. Галеркин.* Упругое равновесие полого кругового цилиндра и части цилиндра Изв. Научно-иссл. ин-та гидротехн., т. 10, 1933.
7. *Б. Г. Галеркин.* Тонкие упругие плиты. 1933.
8. *Б. Г. Галеркин.* Напряженное состояние при изгибе прямоугольной плиты по теории толстых плит и теории плит тонких. Тр. Ленингр. ин-та сооруж., 1935, вып. 2.
9. *Б. Г. Галеркин* и *Я. И. Перельман.* Напряжения и перемещения в цилиндрическом трубопроводе. Изв. Научно-иссл. ин-та гидротехн., т. 27, 1941.
10. *Б. Г. Галеркин.* Равновесие упругой сферической оболочки. Прикл. матем. и мех., 1942, № 6.
11. *Г. Генки.* Пространственная задача упругого и пластического равновесия. Изв. АН СССР, ОТН, 1937, т. 2.
12. *Е. П. Гроссман.* Вибрации хвостового оперения. Тр. ЦАГИ, № 186.
13. *Н. А. Кандыба, Л. С. Гильман* и *С. С. Голушкевич.* Инженерная деятельность Б. Г. Галеркина и ее связь с его научными работами. Докл. на совещании в Ин-те механики АН СССР 24/III 1946 г.
14. *Л. В. Канторович* и *В. И. Крылов.* Методы приближенного решения задач высшего анализа. 1941.
15. *М. В. Келдыш.* Изв. АН СССР, серия матем., 1942, т. 6, № 6.
16. *Л. С. Лейбензон.* Теория упругости. 1943.
17. *А. И. Лурье.* К теории систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Тр. Ленингр. индустр. ин-та, 1937, № 6.
18. *А. И. Лурье.* Курс теории упругости. Изд. Ленингр. индустр. ин-та, 1938.
19. *А. И. Лурье* и *А. И. Чекмарев.* Вынужденные колебания в нелинейной системе. Прикл. матем. и мех., 1938, № 3.
20. *А. И. Лурье.* Приближенное решение некоторых задач о кручении и изгибе стержня. Тр. Ленингр. индустр. ин-та, 1939, № 3.
21. *А. И. Лурье.* Некоторые контактные задачи теории упругости. Прикл. матем. и мех., 1941, № 3.
22. *А. И. Лурье.* К теории толстых плит. Прикл. матем. и мех., 1942, № 6.

23. *А. И. Лурье.* Равновесие упругой симметрично нагруженной сферической оболочки. Прикл. матем. и мех., 1943, № 6.
24. *А. И. Лурье.* Работы Б. Г. Галеркина по теории толстых плит и теории оболочек и их дальнейшее развитие. Докл. на совещании по теории упругости в Ин-те механики АН СССР 24/III 1946 г.
25. *Г. Н. Маслов.* Задача теории упругости о термоупругом равновесии. Изв. Научно-иссл. ин-та гидротехн., т. 23, 1938, стр. 130.
26 *Д. Ю. Панов.* О применении метода Галеркина к решению некоторых нелинейных задач. Прикл. матем. и мех., 1939, № 3.
27. *П. Ф. Папкович.* Обзор некоторых общих решений основных дифференциальных уравнений покоя изотопного упругого тела. Прикл. матем. и мех., 1937, № 1.
28. *П. Ф. Папкович.* Теория упругости. 1939.
29. *Я. И. Перельман.* Метод Б. Г. Галеркина в вариационном исчислении и в теории упругости. Прикл. матем. и мех., 1941, № 3.
30. *Г. И. Петров.* Применение метода Галеркина к задаче об устойчивости течения вязкой жидкости. Прикл. матем. и мех., 1940, № 3.
31. *Ю. Д. Репман.* К вопросу математического обоснования метода Галеркина решения задач об устойчивости упругих систем. Прикл. матем. и мех., 1940, № 2.
32. *Л. Н. Тер-Мкртичьян.* Диссертация на степень доктора технических наук. Защищена в Ин-те механики АН СССР 27/XII 1946 г.
33. *В. И. Феодосьев.* Расчет мембраны с мелкой гофрировкой. Новые методы расчета пружин, 1946,
34. *Г. С. Шапиро.* Функции напряжений в неортогональной системе криволинейных координат. ДАН СССР, т. 56 (8), 1947.
35. *Д. И. Шерман.* Отзыв на диссертацию Л. Н. Тер-Мкртичьяна [см. (32)].
36. *C. Biezano.* Over een vereanvouding en over een uitbreiding van de methode van Ritz. Christian Huigens, 1923—1924, 3 Trg., № 11, Congressnummer.
37. *C. Biezano* u. *R. Grammel.* Technische Dynamik, 1939.
38. *H. Henky.* Eine wichtige Vereinfachung der Methode von Ritz zur angenäherten Behandlung von Variationsproblemen. Zs. f. angew. Math. u. Mech., 1927, Bd. 7.
39. *R. Grammel.* Ein neues Verfahren zur Lösung technischer Eigenwertprobleme. Ingen. Archiv, 1939, № 1.
40. *W. Duncan.* Galerkin's Method in Mechanics and Differential Equations. Aeronaut. research. committee, reports and memoranda, 1937, № 1798 (3287).
41. *W. Duncan.* Applications of the Galerkin's Method to the Torsion and Flexure of Cylinders and Prisms. Phil. Mag., 1938, № 139.
42. *W. Duncan.* Torsions and Torsional Oscillations of Blades. North East Inst. Engr. and Shipbuilders, 1938, № 54.
43. *W. Duncan* a. *Lyon.* Torsional Oscillation of Cantilever. Report and Memor., 1937, № 8.
44. *R. Mindlin.* Contribution ou problème d'équilibre d'élasticité d'un solide indéfini limité par un plan. C. R., vol. 201, 1935, p. 536. Paris.

45. *R. Mindlin.* Note on the Galerkin and Papkovitch stress function. Bull. Am. Math. Soc. 1936, p. 373.
46. *R. Mindlin.* Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. Physics, 1936, v. 7, p. 195.
47. *H. Neuber.* Ein neuer Ansatz zur Lösung. Zs. f. angew. Math. und Mech., 1934, Bd. 14, S. 203.
48. *H. Neuber.* Kerbspannungslehre. 1937.
49. *I. Sokolnikoff* a. *R. Specht.* Mathematical theory of Elasticity. 1946.
50. *H. Westergaard.* General solution of the problem of Elastostatics. Bull. Am. Math. Soc., 1935, p. 695.

Академик

И. И. Артоболевский

УСПЕХИ СОВЕТСКОЙ НАУКИ В РАЗВИТИИ ТЕОРИИ СТРУКТУРЫ МЕХАНИЗМОВ

С момента своего зарождения — в середине XIX века — и до Октябрьской революции теория механизмов была представлена в нашей стране плеядой блестящих ученых, сочинения которых могут быть признаны классическими. Достаточно назвать основоположника теории механизмов в России академика П. Л. Чебышева, создателя гидродинамической теории трения академика Н. П. Петрова, выдающегося специалиста в области теории регулирования И. А. Вышнеградского. Этими учеными были заложены основы современной теории механизмов и машин. Исследования были продолжены и развиты рядом выдающихся представителей нашего времени, среди которых по праву первое место занимают Н. Е. Жуковский и Л. В. Ассур. Работы Жуковского и Ассура по теории механизмов, появившиеся непосредственно перед Октябрьской революцией, определили основные пути, по которым развивалась советская наука о механизмах.

В кратком очерке трудно дать достаточно полный обзор успехов советской теории механизмов во всех ее направлениях. Остановимся только на одном направлении, в развитии которого советской науке удалось достигнуть наибольших успехов.

Это направление посвящено развитию методов структурного анализа и синтеза механизмов. Успехи советской школы в области структурного анализа и синтеза механизмов особенно убедительны потому, что первые

два десятилетия XX века могут быть отмечены как годы усиленных поисков русскими и зарубежными учеными общих методов структурного анализа и синтеза механизмов. Эти попытки, давая решения ряда задач структуры конкретных механизмов, не приводили к созданию обобщающих теорий, на основе которых могли бы быть указаны общие методы решения задач структурного анализа и структурного синтеза механизмов. Исключением явилась указанная выше работа Л. В. Ассура, опубликованная в период 1913—1918 гг., в которой были установлены принципиальные основы современной теории механизмов, успешно развитой в дальнейшем советскими учеными. Вот почему изложение результатов, полученных советской школой ученых в развитии проблем структурного анализа и синтеза механизмов, необходимо начинать с работ Чебышева и Ассура, из которых первая опубликована во второй половине XIX века, а вторая — в период зарождения нашей современной советской школы ученых.

Структурный анализ ставит задачу изучить строение механизма с точки зрения соответствия числа тел (звеньев), входящих в механизм, и способов их соединений (кинематических пар) с возможностью воспроизведения движения с заданной степенью свободы (степенью подвижности). Связь между числом звеньев, числом кинематических пар и степенью подвижности механизма может быть выражена в виде некоторой формулы, носящей название структурной формулы механизма.

Впервые структурная формула для механизмов, звенья которых обладают только плоскопараллельным движением, была выведена Чебышевым [1] в 1864 г. В дальнейшем эта формула была развита Грюблером. Вид этой формулы таков:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4,$$

где W — степень подвижности механизма, n — число подвижных звеньев механизма, p_5 — число пар V класса, т. е. пар, обладающих одной степенью свободы в относительном движении звеньев, p_4 — число пар IV класса, т. е. пар, обладающих двумя степенями свободы в относительном движении звеньев. [1]

---

[1] Терминология, условные обозначения и формулы даются согласно классификации кинематических пар и стандартов, установленных Комитетом по технической терминологии АН СССР.

В 1923 г. А. П. Малышев [2] обобщает формулу Чебышева — Грюблера на механизмы, звенья которых имеют пространственное движение общего вида. Структурная формула Малышева имеет уже вид

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1.$$

В этой формуле обозначения те же, что и в предыдущей, но кроме кинематических пар V и IV классов в этих механизмах находят себе применение и пары III, II и I классов, обладающие соответственно тремя, четырьмя и пятью степенями свободы в относительном движении звеньев.

В 1936 г. И. И. Артоболевский [3] указал, что механизмы, звенья которых имеют сферическое движение, также удовлетворяют формуле Чебышева.

В 1937 г. В. В. Добровольский [4], рассматривая плоские механизмы с поступательными парами V класса, получает для них структурную формулу

$$W = 2n - p_5.$$

В 1938 г. Добровольский [5] выдвинул идею о делении всех механизмов на пять основных семейств по числу общих связей, наложенных на движение звеньев механизмов. Эта идея, получившая в дальнейшем подробное развитие в его работах [6] 1938—1946 гг., позволила ему получить самые широкие обобщения в теории структуры механизмов. Удалось установить, что деление механизмов на пять семейств позволяет применить общие методы анализа к механизмам, относящимся к одному и тому же семейству. Например, кинематика плоских и сферических механизмов может быть изучена аналогичными приемами. То же и для плоских механизмов с одними поступательными парами и пространственных механизмов с соосными винтовыми парами. Полученные обобщения позволили Добровольскому дать единую структурную формулу механизмов, из которой как частные могут быть получены все указанные выше. Единая структурная формула имеет вид

$$W = (6 - m)\, n - \sum_{k=5}^{k=m+1} (k - m)\, p_5,$$

где m — количество общих связей, наложенных на движение звеньев механизма, принимающее последовательно значения $m = 0,\ 1,\ 2,\ 3$ и 4;

k — номер класса кинематической пары, определяемый количеством связей, наложенных на ее относительное движение, изменяющийся в пределах $k = 5,\ 4,\ \ldots,\ (m+1)$.

Из приведенной формулы следует, что в зависимости от числа общих связей m, наложенных на движение звеньев механизма, может быть получено пять структурных формул для пяти различных семейств механизмов. Получение всей возможной гаммы структурных формул механизмов позволило перейти к систематическому изучению каждого семейства механизмов, структура которого описывается соответствующим уравнением. При этом выявилось, что многие из известных в технике механизмов, относившиеся к разряду «особенных», легко укладываются в одно из пяти семейств, структура которых описывается соответствующей формулой. Так смогли быть выявлены критерии существования тех или иных механизмов и установлены методы структурного и кинематического анализа и синтеза этих механизмов.

Дальнейшее развитие теория структуры механизмов получила в работах В. В. Добровольского и И. И. Артоболевского [7]. Ими было предложено произвести внутри каждого из пяти семейств механизмов подразделение на роды в зависимости от вида тех ограничений движения, которые накладываются общими связями. Эти исследования позволили сильно расширить круг тех возможных механизмов, которые могут быть построены и использованы в современной технике. Например, из структурной формулы для механизмов с $m = 3$ следовало, что может существовать целое семейство механизмов, у которых ограничено два поступательных и одно вращательное движения. В 1944 г. И. И. Артоболевским [8] было показано, что такие механизмы могут быть построены, но для этого должна быть использована новая винтовая кинематическая пара с винтовыми линиями, расположенными на поверхности круглого тора. Дальнейшее углубление этого вопроса, несомненно, обогатит теорию и практику новыми схемами механизмов.

Развитие работ по теории структуры механизмов показывает, что, несмотря на кажущуюся общность полученных структурных формул и единственность получаемых из них решений, задача структуры механизмов еще далеко не разрешена. Выявилось, что кроме тех видов связей, которые накладываются на движение всего механизма и отдельных элементов его кинематических пар и активно воздействуют на форму дви-

жения механизма, могут существовать связи, которые, не воздействуя активно на движение механизма, все же входят в состав механизма и должны учитываться при изучении реальной кинематики и динамики механизмов. Такие связи получили название «пассивных» связей. Выявление пассивных связей представляет большие трудности, и до сих пор эта задача полностью не разрешена. Первую попытку создания систематической теории пассивных связей сделал в 1937 г. Н. Г. Бруевич [9], давший кинематический критерий для установления факта существования пассивных связей в механизмах. Пользуясь своим методом, Н. Г. Бруевич показал его применение на ряде плоских и пространственных механизмов. Трудности, связанные с анализом пассивных связей, сильно тормозят продвижение теории механизмов с пассивными связями. Одна из ближайших задач теории механизмов, предусмотренных планом научных работ Академии Наук СССР, — это задача о развитии теории пассивных связей.

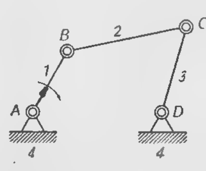
Установлением основных семейств механизмов и аналитических зависимостей, которым эти семейства удовлетворяют, еще не решается задача структурного анализа. В каждом семействе или роде может быть объединено множество механизмов, так как число возможных комбинаций из звеньев и кинематических пар, способов их последовательного наслоения и соотношений между размерами относительных звеньев может быть безгранично велико. Например, одни только плоские механизмы с числом общих связей $m = 3$, т. е. механизмы, звенья которых имеют плоскопараллельное движение, обладают таким многообразием возможных своих форм, что ежегодно можно отмечать появление в технике новых и новых плоских механизмов. Между тем эти плоские механизмы — лишь только одна из подгрупп того семейства механизмов, для которых структурной формулой будет

$$W = 3n - 2p_5 - p_4.$$

Многообразие возможных форм строения механизмов заставляло исследователей разрабатывать методику структурного образования этих механизмов и делать попытки установления их научной классификации. Мы не останавливаемся на изложении различных систем классификации, предложенных различными авторами, так как этот вопрос неоднократно излагался нами в различных статьях, сообщениях и докладах. Укажем

только, что подобные попытки делались в конце XVIII и на протяжении всего XIX века, не приводя, однако, к достаточно удовлетворительному результату. Причина этого заключалась в том, что предлагаемые различные системы классификаций основывались на сравнительно случайных признаках, не определявших структурных и кинематических свойств механизмов.

Новые и обобщающие принципы структурного образования и классификации механизмов были предложены и развиты Л. В. Ассуром [10]. Принцип образования механизмов, по Ассуру, состоит в том, что каждый механизм может быть образован путем последовательного наслоения кинематических цепей, удовлетворяющих определенному структурному условию. Таким образом, каждый механизм, по Ассуру, состоит из звена или ряда звеньев, законы движения которых заданы, неподвижного звена (стойки) и одной или нескольких последовательно присоединяемых кинематических цепей. Установив возможные структурные свойства присоединяемых кинематических цепей, Ассур предложил классификацию этих цепей, положив в основу ее принцип единства методов кинематического и кинетостатического анализа механизмов, образованных кинематическими цепями одного и того же класса. Таким образом Ассур свел задачу об анализе механизмов к задачам анализа отдельных кинематических цепей, относящихся к тому или иному классу. Классификация, развитая Ассуром, относилась только к плоским механизмам с низшими вращательными парами V класса, т. е. к механизмам со структурной формулой



Фиг. 1

$$W = 3n - 2p_5,$$

но принципы, заложенные Ассуром, можно было перенести на механизмы и других семейств и получить обобщение его классификации на все механизмы любых семейств. В дальнейшем эта задача и была успешно выполнена советской школой по теории механизмов.

Рассмотрим плоский механизм (фиг. 1), состоящий из одного ведущего звена *1*, одного неподвижного звена *4* и двух звеньев *2* и *3*, присоединенных

в точках B и D к звеньям *1* и *4*. Так как число подвижных звеньев равно трем и все вращательные пары A, B, C и D будут парами V класса, то степень подвижности W механизма после подстановки в структурную формулу будет равна

$$W = 3n - 2p_5 = 3\cdot 3 - 2\cdot 4 = 1,$$

т. е. механизм обладает одной степенью свободы относительно стойки *4*.

Образование этого механизма, по Ассуру, может быть сделано следующим образом. К звену *1*, степень подвижности которого равна единице, присоединена в точке B кинематическая цепь, состоящая из звеньев *2* и *3*; второй свободный конец цепи присоединен в точке D к неподвижному звену *4*. Так как в результате этого присоединения должен быть образован механизм с той же самой степенью подвижности, равной единице, то очевидно, что присоединяемая кинематическая цепь должна обладать степенью подвижности, равной нулю. Кинематические цепи с нулевой степенью подвижности Ассур назвал группами. Таким образом, образование механизмов, по Ассуру, может быть представлено как последовательное наслоение групп. Тогда структурная формула группы будет иметь вид

$$3n - 2p_5 = 0.$$

Из этой формулы легко получить те возможные сочетания звеньев и кинематических пар, которые могут образовывать группы. Имеем

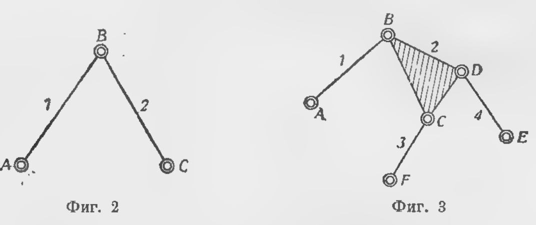
$$n = 2,\ 4,\ 6,\ \ldots$$

$$p_5 = 3,\ 6,\ 9,\ \ldots$$

Не трудно видеть, что группа (фиг. 1), состоящая из звеньев *2* и *3* и кинематических пар B, C и D, удовлетворяет первому сочетанию звеньев и пар. Из первого сочетания звеньев и кинематических пар мы не можем получить других каких-либо групп, кроме той, которую мы имеем на фиг. 1. Для последующих сочетаний возможно образование групп, различных по своим структурным и кинематическим свойствам. Как показал Ассур, образование этих более сложных групп подчиняется определенным закономерностям.

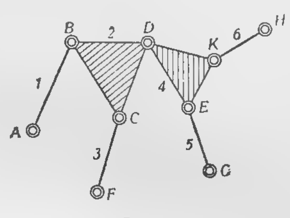
Нет возможности в настоящем кратком обзоре дать полное изложение этих закономерностей. Укажем лишь на некоторые наиболее характер-

ные идеи, которые в них заложены. Применяя метод «развития поводка» Ассура, можно из группы, состоящей из двух звеньев *1* и *2* и трех кинематических пар A, B и C (фиг. 2), получить группу, состоящую из четырех звеньев и шести кинематических пар. Метод состоит в следующем.



Фиг. 2 Фиг. 3

Предположим, что звено BC, названное Ассуром поводком, заменено кинематической цепью, состоящей из звеньев *2*, *3* и *4* (фиг. 3). Так как поводок BC и цепь, состоящая из звеньев *2*, *3* и *4*, обладают степенью подвижности $W_0 = -1$, то получается новая группа, состоящая из одного жесткого звена BDC и трех поводков BA, DE и CF, т. е. мы получаем как бы развитый поводок. Развитием какого-либо другого поводка, например, поводка DE (фиг. 4), может быть получена следующая группа, состоящая из двух жестких звеньев и четырех поводков, и т. д.

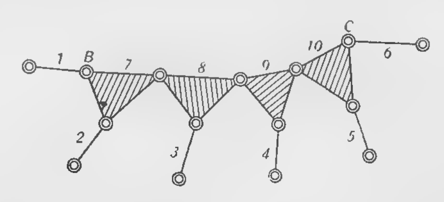


Фиг. 4

Методом развития поводка могут быть получены многоповодковые группы, в которых будут замкнутые, но жесткие контуры (контур BDC и контур DKE, фиг. 4). Группы, в составе которых будут замкнутые контуры, обладающие подвижностью (нежесткие), могут быть получены следующим приемом, указанным Ассуром. Пусть, например, имеется шестиповодковая группа (фиг. 5). Выбросим из нее поводки *1* и *6*. Очевидно, что количество степеней подвижности оставшейся цепи будет равно

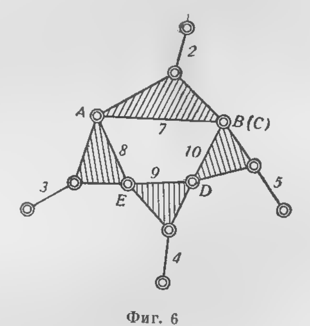
$$W = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 = 2,$$

т. е. цепь будет обладать двумя лишними степенями подвижности. Чтобы превратить эту цепь в группу, введем звено 7 в кинематическую пару со звеном *10*, точками *B* и *C* (фиг. 6). Не трудно заметить, что степень



Фиг. 5

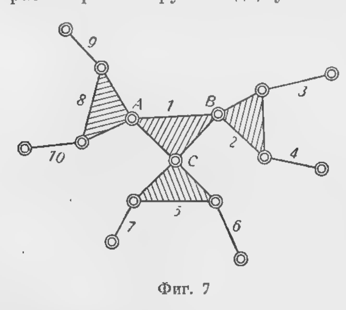
подвижности полученной цепи будет равна нулю, т. е. эта цепь будет группой. Полученная группа, кроме четырех жестких контуров, имеет и один контур *ABDE*, обладающий подвижностью. Группы, обладающие только жесткими контурами, Ассур относил по своей классификации к группам I или II классов в зависимости от того, крайние или средние поводки получают свое развитие. Группы, имеющие подвижные контуры, Ассур относил к группам III и IV классов в зависимости от числа подвижных контуров. Не останавливаясь на подробностях и деталях классификации Ассура, укажем только, что им было доказано, что все возможные группы, удовлетворяющие основному структурному уравнению, укладываются в предложенную им классификацию. Ассур указывает методы кинематического и кинетостатического анализа всех полученных им групп. Однако в этой части его работы имеются некоторые противоречия, заключающиеся в том, что методы анализа не всегда четко увязаны с классом группы. Например, группы, указанные на фиг. 2 и 3, относятся к одному и тому же классу, а методы их анализа существенно различны. Это было ясно и Ассуру, так



Фиг. 6

как для решения задач кинематики групп вида, указанного на фиг. 3 или 4, он применял разработанный им оригинальный метод так называемых точек Ассура.

С другой стороны, группы вида, отнесенные Ассуром к группам II класса (фиг. 7), легко решаются тем же методом особых точек. На это указал еще Н. Е. Жуковский в одной из своих статей [11], посвященных рассмотрению групп вида, указанного на фиг. 6.

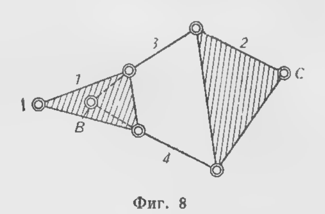


Фиг. 7

Сложность методов анализа, рекомендованных в некоторых случаях Ассуром, заставила исследователей искать новых путей в теории образования групп. В 1939 г. В. В. Добровольским [7] был предложен способ образования групп методом «разложения шарнира», сущность которого заключается в следующем. Пусть нам дана простейшая группа (фиг. 2), состоящая из двух звеньев. Мгновенным центром вращения в относительном движении звеньев будет всегда точка B. Выбросим шарнир в точке B и заменим его двумя звеньями *3* и *4* (фиг. 8), оси звеньев которых пересекаются в той же точке B. Тогда мгновенное относительное движение звеньев *1* и *2* будет тем же, а вновь полученная цепь будет группой с двумя жесткими и одним подвижным контурами. Не трудно заметить, что этот метод дает быстрый переход от простейших групп к сложным группам высоких классов, но, как отмечает и сам В. В. Добровольский, метод разложения шарнира также не везде применим. Например, этим методом не может быть получена группа, указанная на фиг. 6.

Принцип исследования не всего механизма, а тех групп, из которых он образован, предложенный Ассуром, естественно было перенести с плоских механизмов с числом $m = 3$ к другим семействам и родам механизмов. В 1935 г. И. И. Артоболевским [12] были рассмотрены некоторые группы, относящиеся к механизмам семейства с $m = 0$. Им были рассмотрены простейшие группы, имеющие в своем составе только жесткие контуры. В 1936 г. классификация Ассура была целиком перенесена И. И. Артоболев-

ским [3] на сферические механизмы, что не представляло никаких особых трудностей, так как сферические механизмы обладают тем же числом $m=3$, как и рассмотренные Ассуром плоские механизмы. В 1937 г. В. В. Добровольский [4] изложил принципы классификации плоских механизмов, у которых все кинематические пары поступательные. Семейство этих механизмов будет обладать числом $m=4$. Им же было доказано, что в этом семействе сложные группы распадаются на простейшие, т. е. классификация групп этого семейства будет более простой, чем семейства плоских механизмов с $m=3$.



Фиг. 8

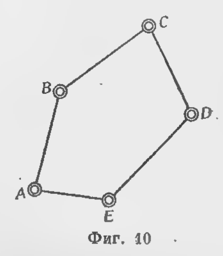
В 1939 г. И. И. Артоболевским [13] был сделан опыт обобщения принципов классификации групп Ассура на группы всех пяти семейств. В основу теории образования групп им был положен метод «развития контура».

Фиг. 9

Сущность этого метода заключается в следующем. Всякая достаточно развитая кинематическая цепь (группа) может состоять из одного и нескольких контуров, образующих каждый в отдельности замкнутую кинематическую цепь, и нескольких незамкнутых цепей, которыми звенья контура могут быть присоединяемы к основным звеньям механизма. Например, группа, показанная на фиг. 9, состоит из одного подвижного контура $ABCD$, к звеньям которого присоединены незамкнутые цепи. К звену *2* в точке E присоединена незамкнутая цепь, состоящая из звеньев *5*, *6* и *7*; к звену *3* присоединена незамкнутая кинематическая цепь, состоящая из звеньев *8*, *9* и *10*, и т. д. Когда эти незамкнутые цепи представляют

одно звено (звенья *11* и *12*), они называются поводками. При нескольких звеньях, входящих в незамкнутую цепь, эти цепи можно назвать «развитыми поводками» или «ветвями». За основу («ядро») группы И. И. Артоболевский берет замкнутый контур и исследует свойства таких контуров.

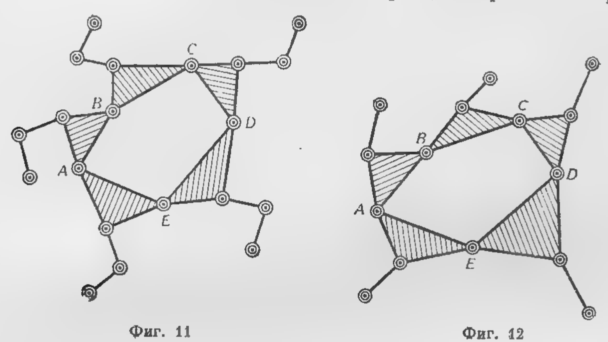
Было установлено, что замкнутые контуры в различных семействах групп могут быть жесткими или подвижными. В самом развитом семействе с $m = 0$ подвижный контур должен содержать в своем составе не менее семи пар V класса. В семействе с $m = 1$ подвижный контур должен содержать в своем составе не менее шести пар V класса. В семействе с $m = 2$ подвижный контур должен содержать в своем составе не менее пяти пар V класса и т. д. Таким образом была установлена классификация замкнутых контуров по числу кинематических пар, в которые входят звенья, образующие контур. Так, контур, показанный на фиг. 10, относится к контурам V класса и будет обладать подвижностью в семействах с $m = 4$, 3 и 2; в семействах же с $m=1$ и 0 этот контур будет уже жестким, т. е. его звенья не будут обладать подвижностью. Класс контура определяет количество его степеней свободы. Следовательно, для того чтобы образовать из контура-ядра группу, нужно лишить этот контур числа степеней свободы, равного классу контура. Это можно сделать путем присоединения к контуру поводков или ветвей. Исследование структуры цепей, присоединяемых к звеньям контура, показало, что в различных семействах подвижность этих цепей может быть различна. Так, в семействе с $m = 0$ степень подвижности W_0 ветвей может меняться от —1 до —5; для механизмов с $m = 1$ степень подвижности ветвей может меняться от —1 до —4 и т. д.



Фиг. 10

Рассмотрение структуры самих контуров и присоединяемых ветвей показывает, что если за основу взять структуру групп семейства с $m = 0$, то структура контуров и ветвей всех остальных семейств может быть легко получена путем последовательного уменьшения числа звеньев и кинематических пар, образующих группы, т. е. структура последующих семейств представляет собой частные случаи структуры группы семей-

ства с $m = 0$. Например, если контур $ABCDE$ (фиг. 10) относится к контурам семейства с $m = 2$, то группа, образованная путем присоединения к каждому звену контура соответствующей ветви, будет иметь вид, показанный на фиг. 11, т. е. каждая ветвь будет состоять из двух звеньев. Если же контур $ABCDE$ будет контуром семейства с $m = 3$, то ветви вырождаются в поводки (фиг. 12). Такой принцип образования групп



Фиг. 11 Фиг. 12

позволил расширить наше представление о свойствах групп различных семейств и дал возможность утверждать, что в основе всех приемов анализа групп лежат общие методы, развитие которых может значительно продвинуть вопросы их структурного анализа.

Мы коснулись только немногих основных вопросов теории структуры механизмов, причем рассмотрели эти вопросы в общем виде, не входя в детальное изучение различных механизмов, применяющихся в технике, т. е. не рассмотрели конструктивного оформления тех кинематических пар, совокупность которых образует тот или иной конкретный механизм. Между тем число возможных кинематических пар и их комбинаций очень велико, и истинное движение механизма определяется всей совокупностью пар, образующих механизм. Поэтому детальное изучение структуры конкретных механизмов, применяющихся в современной практике, должно начинаться в первую очередь с изучения геометрических параметров отдельных кинематических пар, образующих механизм, т. е. тех точек,

линий или поверхностей, которые образуют соприкасающиеся элементы. Должна быть изучена связь этих параметров с теми движениями, которые имеют звенья пар относительно друг друга. Только после этого предварительного анализа можно переходить к использованию тех формул и соотношений, которые были указаны выше. Успехи советской науки в области изучения этих свойств кинематических пар, образующих конкретные механизмы, не могут найти полного отражения в рамках настоящей работы.

Таким образом, в области теории структуры механизмов советской школе принадлежит, несомненно, ведущая роль. Работы Чебышева, Сомова и Ассура подготовили исключительно благоприятную почву для быстрого роста и глубокого развития в СССР не только теории структуры механизмов, но и других разделов теории механизмов. В частности, классификация современных механизмов, созданная советскими учеными, позволила в значительной мере разрешить основные вопросы кинематического и кинетостатического анализа механизмов, некоторые вопросы синтеза механизмов и т. д.

Однако успехи советских ученых в этой части далеко еще не разрешают всех вопросов теории структуры механизмов. Перед ними стоят труднейшие задачи дальнейшего развития структурного синтеза механизмов и создания классификации механизмов, увязанной с методами их синтеза. Решение этих задач будет иметь огромное значение для развития методов синтеза тех новых быстроходных и высокопроизводительных механизмов, которые определяют высокий уровень нашей советской техники. Нет сомнения, что советская наука о механизмах, сформировавшаяся за тридцать лет советской власти в серьезную научную школу, с честью разрешит эти задачи и займет первое место в мировой науке о механизмах.

ЛИТЕРАТУРА

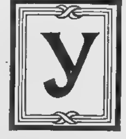
1. *П. Л. Чебышев.* О параллелограммах. 1869. Полн. собр. соч., т. II, 1907.
2. *А. П. Малышев.* Анализ и синтез механизмов с точки зрения их структуры. 1923.
3. *И. И. Артоболевский.* Сложные сферические механизмы. Вестн. инж. и тех., 1936, № 10.
4. *В. В. Добровольский.* Исследование плоских механизмов с поступательными парами. Тр. Военно-возд. акад., 1937, № 18

5. *В. В. Добровольский.* Новый метод исследования механизмов. Тр. Моск. станко-инстр. ин-та, 1938, вып. II.
6. *В. В. Добровольский.* Система механизмов. 1943.
7. *В. В. Добровольский, И. И. Артоболевский.* Структура и классификация механизмов. Изд. АН СССР, 1939.
8. *И. И. Артоболевский.* О двух новых пространственных механизмах. Изв. АН СССР, ОТН, 1944, № 7.
9. *Н. Г. Бруевич.* Пространственные механизмы с пассивными связями. Вестн. инж. и техн., 1937, № 7.
10. *Л. В. Ассур.* Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. Изв. СПб. политехн. ин-та, 1913—1918.
11. *Н. Е. Жуковский.* О механизме Л. В. Ассура. Полн. собр. соч., т. I.
12. *И. И. Артоболевский.* О структуре пространственных механизмов. Тр. Военно-возд. акад., 1935, № 10.
13. *И. И. Артоболевский.* Опыт единой классификации механизмов. Изв. АН СССР, ОТН, 1939, № 10.

Академик

М. В. Кирпичев

ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

чение о подобии — наука сравнительно молодая, хотя отдельные попытки изучать подобие делались уже Ньютоном, [1] Мариоттом [2] и Фурье. [3] Теория подобия получила развитие только за последние 100 лет, после работ Бертрана [1], Реша [2], Рейнольдса [3], Фруда и других, установивших существование инвариантов подобия (критериев) и показавших способ их получения, если законы природы могут быть выражены математически в виде связи между физическими величинами.

Особое значение приобрела теория подобия со второго десятилетия нашего века, когда появились работы Аппеля [4], Рябушинского [5], Букингэма [6], Федермана [7] и Афанасьевой - Эренфест [8]. Благодаря трудам этих ученых была установлена возможность представлять существующие в природе связи между физическими величинами в форме математической зависимости между критериями подобия. Поскольку последние сохраняют одно и то же значение для всех подобных явлений, такое «критериальное уравнение» осуществляло перенос результатов опыта над одним явлением на все явления, ему подобные.

---

[1] Isaac Newton. Principia, Libr. II, VII, Propositia, 32, 33 (1686).

[2] Mariotte. Traité de la percussion des corps. 1679; Traité de mouvement des eaux. 1686.

[3] J. B. Fourier. Mémoire sur la distinction des racines imaginaires. Oeuvres de Fourier, t. II, p. 135, 1827.

Явления природы изучаются как экспериментально, путем постановки опытов, так и теоретически. В значительном большинстве случаев теоретические исследования удается довести до вывода закона, связывающего между собой физические явления в виде дифференциальных уравнений. Интегрирование же этих уравнений представляет неодолимые трудности и не может быть выполнено. Однако для получения из уравнения критериев подобия нет необходимости их интегрировать.

В самом деле, критерии, найденные из уравнений, которые предварительно были бы проинтегрированы, не могут быть отличными от полученных непосредственно из дифференциальных уравнений; в противном случае это означало бы, что операция интегрирования может изменить свойства подобных явлений.

Таким образом, теория подобия является связующим звеном между теорией и экспериментом. Она позволяет обобщить на основе незавершенного теоретического решения данные эксперимента, перенеся их на целую группу явлений, на подобные между собой явления. Дальнейшее распространение единичного опыта на явления, ему не подобные, конечно, уже незакономерно.

Помощь эксперименту со стороны теории подобия этим не ограничивается. Чтобы перенести результаты опыта на другие явления, надо знать, что они подобны между собою. Теория подобия указывает, как распознать подобие явлений.

Такая постановка вопроса обратна изложенной выше; подобие не подразумевается существующим, а ищется. Она еще сильнее сближает теорию подобия с теоретической физикой. Чтобы дифференциальные уравнения относились именно к тому явлению, которое изучается в опыте, к ним должны быть добавлены соответственные краевые условия и другие параметры, которые в совокупности составляют условия однозначности, выделяющие из всего множества явлений, описываемых этими уравнениями, то, которое исследуется на опыте. Иначе говоря, должна существовать единственность решения дифференциального уравнения. Таким образом, процесс постановки опыта и теоретические исследования становятся почти не отделимыми друг от друга.

Задача установления подобия между явлениями была поставлена еще Ньютоном. Фруд разрешил ее для случая построения модели судна, подобного натуре, принятой за образец, и нахождения на модели дина-

мических характеристик для судна, которое намечено к постройке. Задача об установлении подобия внутренних сил для случая двух упругих тел, находящихся под действием внешних сил, была отчетливо формулирована и решена профессором В. Л. Кирпичевым [9].

Вывод общей теории о существовании подобия был дан советскими учеными [10] в связи с разработкой правил моделирования тепловых устройств, так как в этой области без решения задачи об условиях, необходимых и достаточных для осуществления подобия, моделирование невозможно.

Теорема о существовании подобия выделяет из всех критериев подобия так называемые определяющие, которые составлены только из величин, входящих в условия однозначности. Подобие условий однозначности и одинаковость определяющих критериев для образца и модели необходимы и достаточны для существования подобия модели образцу.

Доказательство теоремы о существовании подобия завершило развитие теории подобия как научного метода постановки эксперимента, обработки его результатов и закономерного распространения их на другие явления. Без нее применение теории подобия к тепловым явлениям было невозможно, ввиду зависимости этих явлений от тех или иных краевых условий, влияние которых как раз и учитывается теоремой существования.

Для осуществления теплового подобия приходится обыкновенно удовлетворить многие, трудно выполнимые требования. Поэтому была разработана теория приближенного подобия. Опыты показали, что во многих случаях при несоблюдении некоторых условий подобия отклонение от подобия получается настолько незначительным, что для практических целей им можно пренебречь. Например, для чисел критерия Рейнольдса порядка 10 000 величина коэффициента гидравлического сопротивления почти не меняется с изменением критерия Рейнольдса в значительных пределах. Следовательно, условие инвариантности его может быть опущено из условий подобия.

Переход от точного подобия к приближенному открыл широкие возможности применения метода подобия к обобщению данных опытов и к изучению рабочих процессов в теплообменных аппаратах и устройствах на моделях [11].

Главное применение теория подобия получила в области конвективного теплообмена; оно пошло по двум направлениям: теплофизическому —

изучению отдельных элементов тепловых устройств и теплотехническому— изучению тепловых устройств в их совокупности, но не в натуре, а на их моделях. Оба эти метода изучения рабочих процессов тепловых устройств нашли полное признание в СССР и получили широкое применение при изучении теплообмена и гидравлического сопротивления самых разнообразных тепловых устройств и их элементов.

Исследование на моделях охватило различные типы промышленных печей, горелок, топок, котлов, подогревателей, теплообменников, регенераторов, сушил, циклонов и сепараторов, дымососов, струйных аппаратов, выхлопных патрубков паровых турбин, установок для азотизации металлических изделий и целого ряда других устройств. Число исследовательских работ, применяющих теорию подобия к тепловым явлениям, в настоящее время достигло восьмисот [12]. Перечень главнейших из них можно найти также в книге М. В. Кирпичева [11].

Применение теории подобия к изучению тепловых машин и аппаратов продолжает все расширяться и захватывать новые области теплотехники. Приведем в качестве примера краткое содержание нескольких работ научных сотрудников Энергетического института АН СССР, представляющих собой дальнейшее развитие теории подобия и моделирования в области теплообмена, смешения газов, моделирования машин, подобия физико-химических превращений и теоретических основ учения о подобии.

М. А. Михеев дал новые обобщенные формулы по теплоотдаче при свободном движении жидкости или газов, омывающих нагретое тело. За последние годы в литературе появилось много новых данных об опытах с воздухом, водородом, углекислотой, водой, анилином, глицерином, четыреххлористым углеродом, различными маслами и ртутью. Помещенные в эти среды тела имели разнообразные формы: шары, горизонтальные и вертикальные проволоки, трубы и плиты; размеры их варьировались в широких пределах.

В результате единообразной обработки этих данных и их сопоставления между собой Михеев получил одну кривую, около которой хорошо укладывались все точки. Кривая состоит из четырех ветвей, каждая из которых может быть выражена степенной функцией вида

$$Nu = c\,(Gr \cdot Pr)^n,$$

где c и n для отдельных ветвей имеют свои значения.

Полученные законы теплоотдачи в основном определяются режимом движения жидкости. При $n=0$ преобладает пленочный режим, при $n=\frac{1}{8}$ — ламинарный, при $n=\frac{1}{4}$ — локонообразный и при $n=\frac{1}{3}$ — вихревой. Последний режим автомоделен относительно линейных размеров. Эти результаты имеют большое практическое значение.

Е. В. Кудрявцев изучал теплообмен при свободном движении жидкости в больших объемах и движение воздуха в промышленных и общественных помещениях (цехи, залы, театры).

Из теории и опыта следует, что слои воздуха ниже нагретого тела в циркуляцию не вовлекаются. Это явление привело Кудрявцева к мысли о возможности в больших помещениях осуществлять «частичную вентиляцию». Например, если осветительные устройства достаточной мощности размещаются в верхней части зала, а основная масса людей находится в нижней части, то вследствие указанного эффекта зал окажется разделенным по горизонтали «температурным перекрытием» на два пространства, почти не зависимых друг от друга, и задачу собственно приточно-вытяжной вентиляции можно решать только для нижней части.

По поручению строительства Дворца Советов, Кудрявцев на модели большого зала продемонстрировал это явление и показал, что можно сосредоточить вентиляцию в объеме одной четверти зала, расположенной под нижним поясом освещения.

Тепловое и гидродинамическое моделирование движения воздуха в большом зале показало возможность отделить моделирование верхней области с естественной конвекцией от нижней области с вынужденной конвекцией и, наоборот, найти определяющий критерий для моделирования «интерференции» естественной и вынужденной конвекции при условии соизмеримости скоростей.

Для естественной конвекции в большом объеме газа опыты Кудрявцева согласуются с данными Михеева в отношении того, что критерий Nu есть функция только произведения $(Gr \cdot Pr)^n$. При этом показатель $n=\frac{1}{3}$, т. е. рассматриваемый процесс не зависит от размеров исследуемого объекта.

В. А. Баум исследовал мало изученный процесс смешения потоков жидкостей (газов). Для определения материального обмена в потоке Баум применил разработанный им в 1934 г. метод нахождения коэффициента молярной диффузии, состоящий в исследовании на водяной модели перераспределения неравномерно распределенного в начальном сечении раствора гипосульфита. Исследование поля концентраций раствора в модели дает возможность вычислить, на основании уравнения турбулентной диффузии, распределение в потоке величины коэффициента диффузии и найти его зависимость от параметров потока. В результате исследования различных случаев движения потока по каналу со свободным входом, с вступлением через тонкую и через толстостенную решетку и по каналу, заполненному кусковым материалом, Баум вывел прямую пропорциональность коэффициента диффузии от скорости потока и размера канала. Эти зависимости нашли хорошее подтверждение в технических сооружениях, изученных им.

С. И. Костерин, Б. К. Козлов и М. Н. Рубанович вели исследование пароводяной смеси, движущейся по горизонтальным участкам труб котла, заменив ее смесью воздуха с водой. Такая замена котла воздухо-водяной моделью чрезвычайно облегчала исследования. Она открыла возможность изменять по произволу пропорцию воды и воздуха, в значительных пределах варьировать скорость, широко развернуть изучение влияния диаметра трубы, ставить визуальное наблюдение структуры потока, менять физические параметры вещества.

Опыты велись на пяти трубах различных диаметров, имеющих стеклянные участки или целиком изготовленных из стекла и плексигласа.

В опытах были установлены режимы потока, зависящие от скорости смеси и ее состава: расслоенный, когда вода двигалась по нижней части трубы, пробковый, когда пузыри воздуха были разделены водяными пробками, эмульсионный, состоящий из мелких воздушных пузырей, и т. д. Течение по вертикальной трубе оказалось резко отличным от горизонтального потока.

Особо было исследовано влияние на структуру потока поверхностного натяжения, которое уменьшалось прибавкой к воде изоамилового спирта. Оказалось, что гидравлические потери при этом не изменяются; точно так же критическая скорость расслоения потока изменилась мало.

Исследования над моделями все время идут впереди опыта над натурой, над течением по трубам пароводяной смеси и дают для последних ряд верных указаний и прогнозов.

Дальнейшее развитие моделей обусловливается составлением уравнения движения двухфазной смеси, являющегося обобщением уравнения Навье — Стокса. Такие уравнения в настоящее время составлены С. Г. Телетовым, получившим из них все критерии подобия. Таким образом, моделирование внутрикотловых процессов становится на твердую почву.

Г. Н. Кружилин исследовал передачу тепла от поверхности нагрева к кипящей жидкости при свободной конвекции. Исходя из формулы Лапласа для давления внутри пузырька пара и уравнения Клапейрона — Клаузиуса, он получил зависимость радиуса кривизны на границе раздела между паровой и жидкой фазами от величины перегрева жидкости. Далее, с помощью анализа этого выражения и уравнений Навье — Стокса и Фурье — Кирхгофа методами теорий размерности и подобия он получил выражение для числа Нуссельта (Nu) в зависимости от трех критериев

$$Nu = 0.0825 \frac{M^{0.7} N^{0.33}}{Pr^{0.5}},$$

где M и N — функции диаметра пузырька, удельной тепловой нагрузки, коэффициента поверхностного натяжения, теплопроводности и ряда величин, характеризующих парообразование.

Полученные уравнения дают также возможность определить величину критической удельной тепловой нагрузки, отвечающей переходу от пузырчатого испарения к пленочному.

Из работ последних лет особенно большое значение имеет исследование Г. К. Дьяконова — о возможности изучения на модели физико-химических процессов происходящих в аппаратах различных химических производств. Даны общие основы учения о подобии физико-химических превращений.

Возможность физико-химического моделирования исследовалась в иностранной литературе Эджворт-Джонсоном и Дамкёлером. Первый автор рассматривал частный случай; второй автор не заметил, что в системе его уравнений были уравнения движения, теплового и материального обмена, но не было уравнения химического превращения. Дьяконов вскрыл ошибку Дамкёлера и показал, что выведенные им химические критерии путем простых преобразований приводятся к обычным критериям Рейнольдса, Прандтля (кинетическому и диффузионному) и других.

Дьяконов присоединил к уравнениям Дамкёлера уравнение Вант-Гоффа — закон действующих масс, которому подчиняется обширный класс физико-химических превращений. Приведенное к безразмерному виду, уравнение может быть представлено в критериальной форме как зависимость между двумя химическими критериями

$$Ko = 1 - Qu.$$

Qu названо Дьяконовым критерием квазистатичности; этот критерий является мерой отклонения процесса от термодинамического равновесия. Ko названо критерием контакта; этот критерий представляет отношение скорости нарушения термодинамического равновесия к скорости его восстановления. С точки зрения возможности моделирования имеют значение два предельных случая химического критериального уравнения: когда $Qu = 1$, процесс квазистатичен; когда $Qu = 0$, имеет место предельная неравновесность химических превращений.

Критерий контакта Ko составлен только из величин, входящих в условия однозначности, которые при рассмотрении каждого конкретного случая должны быть заданы, т. е. Ko относится к категории определяющих критериев. В первом случае, когда $Qu = 1$, будет: $Ko = 0$, иначе говоря, квазистатические процессы не имеют определяющих критериев, что открывает реальную возможность применять метод приближенного подобия при моделировании физико-химических процессов. Такой случай называется *диффузионным процессом*, так как его подобие определяется обычными условиями механического и теплового подобия. Это — область быстро протекающих реакций. Во втором случае, когда $Qu = 0$, будет: $Ko = 1$, и скорость химического превращения не лимитируется условиями обмена. В этом случае выпадают из рассмотрения определяющие критерии механического и теплового подобия, и скорость реакции определяется условиями физико-химического порядка. Такой случай называется *кинетическим процессом*. Он не нуждается в моделировании геометрической и механической обстановки.

Дьяконов рассмотрел несколько случаев применения теории подобия к области химической технологии. На примере синтеза аммиака он показал, что выводы Райтмана о независимости процесса от диффузии можно распространить на высокие давления и что все различные, встречающиеся

на практике случаи охватываются одной кривой, построенной в критериальных координатах.

Теорема о существовании подобия, из которой исходил Дьяконов, не дает общего решения для всех случаев. Более сложные реакции (гетерогенные, цепные) при выяснении возможности их моделирования требуют рассмотрения каждый раз соответствующих химических законов. Работа Дьяконова дает для них общее методическое указание.

Установление для целого класса химических производств возможности изучения их на моделях открывает новую страницу в использовании теории подобия для промышленности. Химикам-технологам следует обратить серьезное внимание на применение метода моделирования; этот метод явится связующим звеном между колбой в химической лаборатории и химическим аппаратом завода.

Моделирование тепловых устройств распространено в настоящее время на новые объекты — паровые турбины (М. В. Кирпичевым) и паровые машины (П. К. Конаковым).

Моделирование проточной части паровых турбин уже внедряется в практику машиностроительных заводов. Необходимы основные указания о применении теории подобия к турбомашинам.

Рассмотрение уравнения Навье — Стокса для случая упругой жидкости было проведено в относительных единицах измерения. Обычно получающиеся при этом постоянные множители, адромные критерии, были преобразованы в монодромные, т. е. имеющие в своем составе одну величину, меняющуюся с переходом от одной точки пространства к другой. Введение так называемых «критериальных» единиц измерения [13], приводящее уравнение к исходному, единичному виду, позволило распространить анализ однозначности решения на группу подобных явлений. Он подтвердил, что кроме обычного критерия Эйлера $Eu_{\Delta p}$ критериальное уравнение содержит еще критерий $Eu_p = \frac{p}{\rho w^2}$, который является определяющим. Как указал К. Д. Воскресенский, это замечание относится и к случаю капельной жидкости, если рассматривается подобие полей давления. Написание уравнения теплообмена в общем виде привело к выводу еще одного критерия, названного именем Джоуля. Этим критерием нельзя пренебрегать во многих случаях, например, для реактивных двигателей.

П. К. Конаков получил основные термодинамические уравнения для нестационарного течения пара в цилиндре паровозной машины. Из этих уравнений, представленных в интегральном виде, получены путем их осреднения критериальные уравнения термодинамического процесса паровозной машины. Показано, что приближенно они могут быть представлены в виде зависимости между безразмерным средним индикаторным давлением и удельным расходом свежего пара от основного критерия

$$\Pi_M = \frac{a d_з \varepsilon a^*}{\nu_0 D^2 h n} \sqrt{1 - \left(\frac{p_e}{p_a}\right)^{\frac{k-1}{k}}},$$

где a — открытие парового окна, $d_з$ — диаметр золотника, ε — отсечка, a^* — скорость звука в свежем паре, ν_0 — коэффициент вредного пространства, D и h — диаметр цилиндра и ход поршня, n — число оборотов, p_e и p_a — давление свежего и мятого пара.

Обработка результатов испытаний различных паровозных машин показала, что критериальные уравнения Конакова хорошо подтверждаются. Поэтому они дают возможность сделать ряд выводов по рациональному выбору конструктивных элементов вновь строящихся паровозов. Разработанная Конаковым методика оценки экономичности паровозных машин используется в настоящее время в расчетно-проектной практике Всесоюзного научно-исследовательского института Министерства путей сообщения.

За последние несколько лет среди сотрудников Энергетического института возникло стремление математически обобщить основные теоремы теории подобия. Теорема о существовании критериального уравнения строго доказана только для случая, когда исходные уравнения даны в конечном виде. При таком ограничении она является в сущности следствием положения об одинаковости размерностей всех членов физического уравнения, высказанного еще Фурье [14].

П. К. Конаков обратил внимание на глубокую связь теории подобия с теорией непрерывных групп преобразований, разработанной норвежским математиком Софусом Ли.

Основные представления теории групп Ли, в частности разделы этой теории, трактующие об инвариантах группы, могут быть с успехом приложены к учению о подобии.

Конаков показал, что теорема о существовании критериального уравнения связывается с частным видом инварианта простейшей линейной группы, и дал математическое доказательство существования критериального уравнения для того случая, когда исходные уравнения получены в дифференциальном виде.

Более общая трактовка вопроса привела Конакова к выводу дополнительных инвариантов, в частности к аффинному преобразованию геометрических объектов. Благодаря этому в работе о подобии паровозных машин им охвачены не только подобные, но и все аффинно преобразующиеся машины.

В текущем 1947 году исполняется 20 лет работы советских теплотехников над развитием теории подобия и приложения ее к задачам моделирования. За это время тепловое моделирование развилось в стройную теорию, опирающуюся на теорему о существовании подобия и на ряд опытов, открывших возможность приближенного моделирования.

Развитие учения о подобии и его приложений неуклонно продолжается. В теплофизике оно позволяет поставить на научную почву обобщения данных опыта и указывает, на какие другие явления можно переносить его результаты. В теплотехнике оно открывает широкие перспективы для исправления существующих устройств и проектирования новых.

Тепловое моделирование уже сделалось могучим рычагом прогресса теплотехнических конструкций и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Joseph Bertrand.* Notes sur la similitude en Mécanique. Journ. de l'école Polytechn., 1848, 32 cahier, p. 189. Sur l'homogénité dans les formules de Physique. C. R., vol. 86, 1878, p. 916.
2. *Reech.* Cours de mecanique d'après la nature généralement flexible et élastique des corps. 1852.
3. *Osborn Reynolds.* On the fluid motion. Papers. 1883.
4. *Appel.* Traité de Mécanique.
5. *Rjabouchinsky.* Aerophil., 1911.
6. *E. Buckingham.* On physical similar systems. Phys. Rev., 1914, (2) vol. 4, p. 244.
7. *А. Федерман.* Изв. Петерб. политехн. ин-та, 1911.
8. *T. Ehrenfest-Afanasiewa.* Math. Ann., 1915, Bd. 27, H. 2; Phyl. Mag., vol. 1, January, 1925.

9. *В. Л. Кирпичев.* О подобии при упругих явлениях. ЖРФХО, 1874, т. 6.
10. *М. В. Кирпичев.* Труды Ленингр. теплотех. ин-та, вып. 1, 1931; *М. В. Кирпичев.* Изв. ЭНИН АН СССР, 1933; т. III, 1936.
11. *М. В. Кирпичев* и *М. А. Михеев.* Моделирование тепловых устройств. 1936.
12. Сб. «Материалы к совещанию по моделированию тепловых устройств». Изд. АН СССР, 1938; *М. А. Михеев.* Основы теплопередачи. 1947.
13. *Н. Е. Кочин.* Гидромеханика, т. II, гл. 4.
14. *J. B. Fourier.* Théorie analytique de la chaleur. 1807—1832.

Академик

Б. А. Введенский

НАШИ РАБОТЫ ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН



сновная тенденция в развитии современной радиотехники состоит в применении очень коротких радиоволн, длина которых, по мере развития способов их возбуждения (генерации) и приема, непрерывно уменьшается. Еще совсем недавно речь шла о волнах длиной в несколько метров (метровые волны диапазона ультракоротких волн),[1] но уже очень скоро выступили последовательно на техническую арену волны дециметровые, сантиметровые и, наконец, миллиметровые. Ясно проявляется стремление сомкнуть в технических приложениях диапазоны радиоволн и волн оптических (тепловых, световых и т. д.).

Появление радиолокации — основной (однако далеко не единственный) стимул этого процесса. Лишь каких-нибудь 20 лет тому назад областью УКВ почти полностью пренебрегали. Одной из причин этого было, конечно, крайнее несовершенство аппаратуры того времени; возможно,

[1] Наш стандарт называет ультракороткими радиоволнами (УКВ) волны длиной от 10 м до 1 см. Диапазон УКВ подразделяется на метровые, дециметровые, сантиметровые. Ныне приходится говорить уже и о миллиметровых волнах. В зарубежной литературе существуют еще термины «квази-оптические волны» и «микроволны», применяемые иногда для обозначения дециметровых, сантиметровых, а иногда и метровых волн. Эти термины многими употребляются и у нас. Здесь мы применяем термин «очень короткие волны», потому что, вопреки стандарту, нередко подразумевают под УКВ один только метровый диапазон.

однако, что еще сильнее влияло то обстоятельство, что очень короткие волны — а это выяснилось уже довольно давно — не способны, в противоположность волнам просто коротким,[1] направляться слоями ионосферы и там, преодолевая кривизну Земли, осуществлять (без промежуточных ретрансляций) дальние и сверхдальние радиопередачи.

Именно успехи коротковолновых дальних передач в первой половине 20-х годов почти полностью затемняли те широкие возможности, которые сулило, правда ценой отказа от дальних передач, применение УКВ. Применением УКВ прежде всего достигается весьма значительное, — а на волнах короче, скажем, 5 м, даже и практически полное — устранение влияния непостоянства и помех ионосферы; в огромной степени снижаются взаимные помехи; получаются многие важные преимущества благодаря удобству, с каким очень короткие волны можно направлять узким пучком. Роль очень коротких волн в передаче телевизии или очень коротких импульсов совершенно исключительна.

Разумеется, все эти и многие другие, подобные им преимущества не могли быть оценены сразу; да, кроме того, и отказ от дальних связей казался столь решающим дефектом, что, пожалуй, до самого конца 20-х годов и даже дольше на УКВ смотрели скорее как на область физики, а не как на техническую задачу. Поэтому естественно, что в это время вопросу о распространении УКВ почти не уделялось внимания ни у нас, ни за рубежом, так что и самые тривиальные теперь для нас вопросы этой области совсем не были выяснены. Например, под гипнозом представлений из области распространения длинных волн нередко полагали, что напряженность поля УКВ должна всегда убывать обратно первой степени расстояния между передатчиком и приемником, хотя, как мы знаем это теперь, для УКВ это справедливо только в ограниченном числе случаев. Одно время, и довольно долго, держался кое-где взгляд, что вопросы о распространении УКВ в основе своей определяются якобы имеющей место принципиальной невозможностью для УКВ распространяться далее горизонта. С другой стороны, еще в конце 30-х годов некоторые французские авторы считали, что ключом к пониманию распространения УКВ является поглощение в земле, хотя теперь мы знаем, что, благодаря

[1] Волны в несколько десятков метров длиной (теперь обычно 10—50 м).

поднятию антенн (всегда имеющему место в случае УКВ) поглощение в земле как раз полезно.[1]

Эти и другие, подобные им воззрения были и не верны и взаимно противоречивы. Но в настоящее время вопрос о распространении УКВ уже довольно полно освещен; значительную роль сыграли здесь работы советских исследователей и, в частности, наши работы, которых мы кратко коснемся в настоящей статье.

1. Мы, повидимому, не ошибемся, указав, что первые попытки применения УКВ для связи были, правда для очень небольших расстояний, произведены в 1922 г. [1] в Радиолаборатории, руководимой М. В. Шулейкиным. Автор при участии А. И. Данилевского демонстрировал телеграфную передачу на волне в 3.8 м с помощью обычных тогда приемных ламп и с применением горизонтальных вибраторов; приемник состоял из кристаллического детектора с низкочастотным усилителем и телефона. Наблюдалось прохождение волн сквозь стены и частичное отражение от них, сопровождавшееся интерференционными и диффракционными явлениями. Тогда уже бросилось в глаза необычайно быстрое ослабление слышимости с расстоянием.

По ряду причин опыты были возобновлены только в 1925 г. в Радиоотделе Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) небольшой группой в составе: Б. А. Введенский, Ю. П. Симанов, Б. В. Халезов и, несколько позже, — А. Г. Аренберг. Нами были исследованы возможности практического применения эффекта ослабления или усиления воздействия на приемник при помещении в поле передатчика металлических (или иных) предметов, в частности «полуволнового» стержневого вибратора. Этот эффект предполагалось тогда применить для обнаружения проходящих экипажей, судов, людей.

Расположение антенн применялось горизонтальное и получающееся при этом электрическое поле определялось как «горизонтально поляризованное». Как известно, именно эта, отличная от применяемой в оптике терминология ныне общеупотребительна; равным образом и горизон-

---

[1] В самом деле, в случае УКВ поглощение земной поверхностью не только не ухудшает дальности распространения очень коротких волн, но, наоборот, этому способствует, как это видно на примере волн порядка 20—10 см, поглощаемых травяным покровом почвы.

тальное расположение антенн для метровых волн встречается ныне чаще, чем вертикальное.

В этих опытах снова подтвердилось необычно быстрое (с точки зрения теории распространения длинных волн) убывание поля с расстоянием. Кроме того, выявилась также выгодность поднятия передающей и приемной антенн.

Выходило, что при расположении антенны недалеко от земли напряженность поля E убывала, примерно, обратно пропорционально в т о р о й степени расстояния d; но — и это был весьма существенный факт — поле возрастало, примерно, пропорционально высоте h поднятия передающей и высоте z поднятия приемной антенн, чем в значительной мере компенсировалось ослабляющее действие расстояния. Таким образом, опыт привел к соотношению

$$E \sim Il \frac{hz}{d^2}, \qquad (1)$$

где I — сила тока в передающей антенне, l — ее «действующая длина».

2. Вскоре удалось понять общеизвестную ныне причину столь быстрого убывания поля с расстоянием. Когда и передатчик и приемник подняты над поверхностью земли, к приемнику приходят (если стать на позицию геометрической оптики) одновременно два «луча»: один — непосредственно «через пространство», другой — после отражения от поверхности земли. Оба луча взаимодействуют (интерферируют), ослабляя или усиливая друг друга в зависимости от разницы в числе длин волн, укладывающихся в пути первого и второго лучей. Так как, кроме того,— и это особенно было важно в нашем случае — д л я п р и м е н я в ш и х с я д л и н в о л н в несколько метров при отражении от земли как бы теряется почти полволны пути (происходит «скачок фазы»), то при встрече обоих лучей у приемника в нашем случае «не очень высоко»[1] поднятых антенн всегда происходит взаимное ослабление обоих лучей. Этим непринужденно объяснялось и необычно быстрое убывание поля с расстоянием и указанное выше влияние высот поднятия антенн.

В 1928 г. автору [1] при деятельном участии А. Г. Аренберга и А. В. Астафьева и отчасти Ю. Н. Шеина удалось поставить более

[1] Т. е. на небольшое число длин волн и при небольшом угле возвышения «луча» над землей.

широкие опыты по распространению УКВ (длина волны около 4 м) до расстояний в 60 км и высот поднятия до 900 м, причем А. Г. Аренберг и А. В. Астафьев совершили измерительные полеты на свободных аэростатах, а также на самолетах [2—5]. Получившийся материал оказался почти во всех случаях в хорошем согласии с соотношением (1).

К этому времени нам стала известна опубликованная в 1927 г. работа Т. Эккерслея относительно поля к о р о т к и х волн, в которой указывалось, что поле должно иметь «лепестковый» характер. Так как соотношение (1) для УКВ легко приводилось в согласие с этим выражением Эккерслея для коротких волн, то выяснилось единство законов распространения для интересующего нас диапазона УКВ и для ближнего распространения коротких волн. На основании этого формула (1) была нами приведена также в виде

$$E = \frac{240\pi^2 Il}{\lambda d} \frac{hz}{\lambda d} \quad [\text{V}/\text{м}], \tag{2}$$

где I дается в амперах, а линейные величины в метрах. Было указано также, что это соотношение справедливо в случае достаточно низко (по отношению к длине волны и расстоянию) расположенных антенн корреспондирующих пунктов, т. е. когда

$$\frac{2\pi\, hz}{\lambda d} \ll 1.$$

Это ограничение было проиллюстрировано примером связи между двумя аэростатами, где поле убывало, примерно, как в свободном пространстве и переставало зависеть от высоты антенн.

3. Формула (2), называемая теперь «квадратичной», является первым опубликованным соотношением в области распространения УКВ и первым существенным шагом в этой области [1, 4, 6]. До сих пор ею приходится пользоваться при расчетах связи на УКВ при низко расположенных антеннах или при расчете дальностей радиолокационного обнаружения низких целей (низколетающих самолетов или кораблей), во всяком случае для длин волн не короче, примерно, 30 см.

В зарубежной литературе эта формула неоднократно приводилась как новинка начиная только с 1933 г. (т. е. спустя 5 лет после ее опубли-

кования у нас), хотя в советскую научную и популярную литературу она вошла уже раньше [7].

Уже при первой публикации формулы (2) было отмечено, что только в случае достаточно ровной поверхности земли приведенное выше рассуждение о появлении одного отраженного луча приемлемо; в сильно пересеченной местности таких отраженных лучей может быть несколько, и тогда простейшая формула (2) должна быть заменена другой, более сложной. Поэтому уже в первой публикации был приведен для характеристики поверхности земли между обоими пунктами геодезический разрез (рельеф) местности, что ныне общеупотребительно во всех работах аналогичного характера.

Понятие «точки отражения» на «шероховатой» местности в последнее время получило значительное развитие в весьма интересных и важных работах М. А. Леонтовича и Е. Л. Файнберга.

4. Более принципиальное ограничение накладывается на границы применимости формулы (2) кривизной Земли. Начиная с 1933 г., были сделаны довольно многочисленные попытки распространить формулу типа (2) на случай сферической Земли, не сходя с позиций геометрической оптики. Но подобные попытки привели, естественно, к известному положительному результату только при столь малых расстояниях, на которых кривизна Земли мало сказывается. Поэтому такие попытки и дали немного; более того, в качестве уже чисто эмпирической формулы «квадратичная» формула (2) является достаточно хорошим приближением к опыту даже и в случае сферической Земли, если не итти слишком далеко в смысле увеличения применяемой частоты, высот и расстояния. [1]

Около 1935 г. была сделана попытка (Эпштейн, Америка) перейти от геометрической оптики к оптике волновой и рассмотреть задачу в стиле обычного рассмотрения явлений френелевой диффракции. [2] Однако для применявшихся тогда волн эта попытка успеха не имела; причиной тому

[1] Например, в известном американском справочнике Pender a. Mc Ilwain (N.-Y., 1936) в статье Скиллинга сказано: «Полезность этой формулы [речь идет о формуле типа (2). — *Б. В.*] не ограничивается распространением над плоской Землей; формула приближенно годится и для сферической Земли, если длина волны больше 3 м, высоты меньше 25 м и расстояние меньше 50 км».

[2] В нашей литературе этот вопрос разбирался в статьях и книгах А. Н. Щукина.

было несоответствие посылок оптики с опытом (полное поглощение волн на выпуклой поверхности Земли). Но по последним данным травяной покров очень сильно поглощает волны длиной 20—10 см и короче, так что построения Эпштейна могут для столь коротких волн оказаться более пригодными.

Для метровых волн недопустимость подобного предположения нам казалась очевидной, откуда вытекала необходимость применения электродинамической (а не «оптической») трактовки.

Убеждение автора в необходимости рассмотрения вопроса распространения УКВ с точки зрения электромагнитной диффракционной теории окончательно созрело при обработке результатов экспедиции ВЭИ, проведенной в 1932 г. А. Г. Аренбергом, М. Л. Слиозбергом, Ю. Н. Шейным, В. И. Пейсиковым и В. А. Кузовкиным и исследовавшей на Черном море распространение метровых волн.

Между тем задача о диффракционном распространении радиоволн — задача математическая и принадлежит к числу трудных. В свое время такие математики, как Макдональд, ученики Зоммерфельда Марх и Рябчинский, даже Анри Пуанкаре, не имели успеха в решении этой задачи. Только в 1918 г. математик Уотсон (Watson) блестяще разрешил эту задачу для случая длинных волн и сравнительно хорошо проводящей земли. Но даже и простое, казалось бы, распространение выводов Уотсона на интересовавший нас случай метровых волн, где в большинстве случаев землю никак нельзя считать хорошо проводящей, было очень трудным. Например, Т. Эккерслей специально разработал «метод фазовых интегралов», основанный на аналогиях (кстати сказать, далеко не везде обоснованных), чтобы, как он пишет, «избежать обращения с запутанными соотношениями». Однако опубликованная Эккерслеем в 1932 г. формула не была пригодна не только для метровых, но даже и для коротких волн.

Поэтому в 1933 г. автор, не математик, решил сделать опыт непосредственного развития метода Уотсона путем применения некоторой, заведомо не вполне строгой аппроксимации входящих в соответствующие выражения функций. Как оказалось впоследствии, именно для интересовавшего автора случая метровых волн (и тем более, для более коротких волн) эта аппроксимация привела к практически правильному результату.

Автор с глубокой признательностью и здесь отмечает тот крайне ценный для него интерес, который проявил к этой работе покойный академик Л. И. Мандельштам, на коллоквиуме которого в 1933 г. была доложена полученная тогда формула.

Хотя ряд причин задержал публикацию до 1935 г. [7], а следующие две статьи появились только в 1936 и 1937 гг., но все же первая, пригодная для УКВ диффракционная формула, в ряде случаев хорошо согласующаяся с опытом, была опубликована в Советском Союзе. В 1942 г. были опубликованы вычислительные графики [8], облегчающие вычисления по этой формуле.

На основании указанных работ английские ученые Эккерслей и Милингтон видоизменили свой «метод фазовых интегралов» так, что он стал пригоден и для области УКВ, о чем они вполне определенно заявляют в своей статье в «Phil. Trans of Royal Society, London». В 1938 г. ван-дер-Поль и Бреммер (1937—1940) дали более обширные, более полные и более строгие выводы диффракционных формул; однако, поскольку дело идет именно об УКВ, их уточнения практически мало ощутимы, тем более что неизбежные и нередко весьма большие несоответствия (например, реальной поверхности почвы) с посылками теории делают в большинстве случаев иллюзорной погоню за особо большой теоретической точностью выкладок.

Наиболее полная и строгая теоретическая работа в области диффракционного распространения выполнена в последние годы В. А. Фоком [11] (1943—1945), который слил в единую общую теорию случаи плоской и сферической Земли, избавив этим от необходимости соединять кривые плоской и сферической Земли «на-глаз», как это практикуется.

5. Необходимо все же признать, что в деле распространения УКВ (или вообще очень коротких волн) теория все время отстает от требований практики. Так, в настоящее время теория диффракции уже не может считаться удовлетворительной, если она не учитывает влияния тропосферы, главным образом ее слоистой неоднородности. В 1933 г. новая экспедиция ВЭИ на Черном море, в составе М. Л. Слиозберга, В. А. Кузовкина, В. И. Пейсикова и др. под руководством автора доказала возможность получения на волне около 60 см при некоторых метеорологических условиях дальностей, бо́льших 100 км, что в 3—4 раза превосходило дальность

прямой видимости и значительно превосходило диффракционную дальность [4, стр. 171].

На основании работ этой экспедиции вскоре было создано несколько образцов советской дециметровой аппаратуры (на магнетронах), в свое время применявшейся на практике.

Данные мировой литературы о влиянии тропосферы на распространение УКВ были нами изложены в двух обзорах [9]. Ныне, по зарубежным публикациям, в условиях субтропиков довольно часто встречаются дальности, превосходящие даже 2000 км (так называемая «суперрефракция»). Есть основания думать, что это объясняется наличием слоев ненормально разреженного (теплого) воздуха на небольших высотах. Вполне удовлетворительной теории этого явления пока еще нет. Укоренившийся в последнее время взгляд, что влияние «невозмущенной» или «линейно неоднородной» тропосферы приводит — по крайней мере для пунктов, расположенных «близко» от поверхности земли — к возможности решать задачу так, как если бы лучи оставались прямыми (несмотря на преломление в тропосфере), но земля была бы более плоской, подтверждается также работой автора и М. И. Пономарева, и произведенной, по предложению автора, работой М. И. Пономарева для «прижатых к земле» лучей [10]. Но в особо строгой и весьма общей форме это показано в новой работе В. А. Фока [12], проведенной в духе классической электродинамики. П. Е. Краснушкин [13] исследовал вопрос о слоистых неоднородностях в тропосфере, исходя из представлений и образов, очень близких к представлениям теории распространения радиоволн в трубах («волноводах»). Этим сделан большой шаг к пониманию явлений «суперрефракции».

Всякая новая теория, претендующая на применение и для волн «сантиметровых», не может не учитывать влияния дождя, снега, тумана, а также и селективного поглощения в атмосфере. Здесь радиотехника совместно с метеорологией порождает новую область знания — радиометеорологию.

Мы должны добиться того, чтобы и на этом новом этапе советским исследователям принадлежали работы принципиального и ведущего значения, подобно тому как это было и на предыдущих этапах развития учения о распространении ультракоротких волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Б. А. Введенский.* К вопросу о распространении ультракоротких волн. Вестн. теорет. и экспер. электротехники, 1928, № 12, стр. 439.
2. *А. Астафьев* и *А. Аренберг.* Опыт радиосвязи аэростатов на ультракоротких волнах. Вестн. теорет. и экспер. электротехники, 1928, № 11.
3. *Б. А. Введенский, А. В. Астафьев* и *А. Г. Аренберг.* О радиосвязи на ультракоротких волнах. Вестн. теорет. и экспер. электротехники, 1929, № 12, стр. 447.
4. *Б. А. Введенский* и *А. Г. Аренберг.* Распространение ультракоротких волн. Гос. изд. техн. связи, М., 1934, стр. 68 и далее.
5. *А. Астафьев* и *А. Аренберг.* Современные методы генерирования незатухающих ультракоротких волн. Вестн. теорет. и экспер. электротехники, 1928, № 9, стр. 353; 1929, № 1, стр. 29; *А. Астафьев* и *Б. Шиллеров.* О возможности применения ультракоротких волн для местного радиовещания. Там же, 1929, отд. выпуски II и III.
6. *Б. А. Шиллеров.* Поле вертикального и горизонтального диполей Герца, помещенных над поверхностью Земли. Вестн. теорет. и экспер. электротехники, 1929, отд. выпуски II и III; *Б. А. Введенский.* Основы теории распространения радиоволн (однородная атмосфера). ГТТИ, М., 1934; *Б. А. Введенский* и *А. Г. Аренберг.* Распространение УКВ. Связьиздат, 1938.
7. *Е. С. Анцелиович.* Ультракороткие волны. М., 1930; *Н. А. Петров.* Ультракороткие волны. ГНТИ, М.— Л., 1932.
8. *Б. А. Введенский.* О диффракционном распространении радиоволн. ЖТФ, 1936, т. 6, стр. 163 и 1837; 1937, т. 7, стр. 1647; Techn. Phys. USSR, 1935, т. 2, стр. 624; Изв. АН СССР, ОТН, 1942, № 1—2, стр. 3; № 9, стр. 60.
9. *Б. А. Введенский* и *А. Г. Аренберг.* Рефракция ультракоротких волн в невозмущенной тропосфере. Влияние тропосферы на устойчивость приема ультракоротких радиоволн. Усп. физ. наук, 1941 и 1943.
10. *М. И. Пономарев.* Влияние рефракции на распространение радиоволн вокруг Земли. Изв. АН СССР, ОТН, 1946, № 9, стр. 1219; *Б. А. Введенский* и *М. И. Пономарев.* Применение методов геометрической оптики для определения траектории ультракоротких радиоволн в неоднородной тропосфере. Там же, стр. 1201.
11. *В. А. Фок.* Диффракция радиоволн вокруг земной поверхности. Изд. АН СССР, 1946.
12. *В. А. Фок.* Доклад на конфер. «Дня радио», май 1947 г.
13. *П. Е. Краснушкин.* Метод нормальных волн в применении к проблеме дальних радиосвязей. Изд. МГУ. Москва, 1947.

Академик
Л. С. Лейбензон

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА



вижение природного газа и природной жидкости в пористой среде составляет в настоящее время самостоятельный отдел механики, которому дано название подземной гидрогазодинамики. В теории разработки газовых и нефтяных месторождений вопрос о движении природного газа или нефти в пористом пласте, прикрытом сверху и снизу непроницаемыми пластами, имеет основное значение. Те же методы исследования могут быть приложены к проблеме газообильности при разработке каменноугольных месторождений, к некоторым вопросам химической технологии, противогазовой защите и к некоторым важным проблемам геофизики.

Теоретические и экспериментальные исследования по этому вопросу начались в СССР в 1921 г., в городе Баку. За два последних десятилетия у нас был создан новый отдел механики — подземная гидрогазодинамика; наши работы в этой области далеко опередили работы зарубежных, главным образом американских, ученых.

Советские работы развились из наших исследований, опубликованных в журналах «Азербайджанское нефтяное хозяйство» (начиная с 1922 г.) и «Нефтяное хозяйство» (1929 и 1930 гг.). Дальнейшие работы проведены молодыми советскими учеными Д. С. Вилькером, П. Я. Кочиной, Б. Б. Лапуком, И. А. Чарным, В. Н. Щелкачевым и другими, составляющими московскую школу подземной гидрогазодинамики.

В 1934 г. нами была опубликована монография [4], содержащая итоги всех советских исследований по этому важному и сложному вопросу. Сравнение с известными нам экспериментальными исследованиями дало хорошее совпадение теории с опытами.

Наиболее общий случай турбулентного движения газа и жидкости в пористой среде был исследован [6] нами в 1945 г.

§ 1. Уравнение неразрывности при движении сжимаемой жидкости в пористой среде. Пористостью называется отношение суммы V_3 объемов всех пор в данном объеме пористой среды ко всему этому объему V_1

$$m = \frac{V_3}{V_1}. \tag{1}$$

Если V_2 есть сумма объемов частиц, образующих пористую среду в объеме V_1, то имеем

$$V_1 = V_2 + V_3. \tag{2}$$

Пористость всегда заключена между нулем и единицею.

Будем относить движение жидкости к прямоугольным осям координат $Oxyz$. Проекции скорости фильтрации на оси обозначим через u, v, w. Они будут функциями координат x, y, z и времени t. Уравнение неразрывности для движения сжимаемой жидкости в пористой среде получается обычным путем в виде

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial t}(m\rho) + q_0\rho = 0, \tag{3}$$

здесь q_0 есть объем газа, выделяющийся в единицу времени в единице объема из частиц, слагающих пористую среду, или, наоборот, поглощаемый частицами пористой среды и считаемый в этом случае отрицательной величиной.

Вообще говоря, среда, в которой движется жидкость или газ, должна считаться деформируемой при тех высоких давлениях, которые имеют место на больших глубинах.

Простейшая гипотеза состоит в предположении, что изменение пористости пропорционально приросту давления

$$dm = \frac{dp}{\alpha_1}, \tag{4}$$

где α_1 — некоторый модуль, характеризующий пористую среду. Через p обозначено гидродинамическое давление, через ρ — плотность жидкости.

Если пористая среда неизменяемая, то m — постоянная величина. Если нет поглощения или выделения газа частицами пористой среды, то

$$q_0=0.$$

В этом случае имеем основное уравнение неразрывности для движения в *неизменяемой пористой среде*

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w)+m\frac{\partial \rho}{\partial t}=0. \tag{5}$$

§ 2. Основное уравнение ламинарной фильтрации жидкости в пористой среде. Состояние сжимаемой жидкости в пористой среде определяется характеристическим уравнением

$$\rho=f(p,\ T). \tag{6}$$

Во всех исследованиях процесс изменения состояния жидкости принимается изотермическим, так что ρ есть функция одного давления p

$$\rho=\rho(p). \tag{7}$$

Если бы считать температуру T переменной, то потребовалось бы составить добавочное уравнение теплового баланса для элементарного участка пористой среды, что легко сделать, исходя из известного уравнения Кирхгофа.

Компоненты скорости ламинарной фильтрации жидкости в пористой среде определяются по правилу Дарси в виде

$$u=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x},\qquad v=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y},\qquad w=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z}, \tag{8}$$

здесь μ есть коэффициент абсолютной вязкости жидкости, а k есть геометрическая величина, имеющая размерность площади и называемая проницаемостью среды.

Если за единицу толщины пористого пласта принять один сантиметр, за единицу перепада давления — одну метрическую атмосферу, за единицу скорости — один сантиметр в секунду, за единицу вязкости — один

центипуаз, то за единицу проницаемости принимается особая единица, называемая д а р с и.

Если δ есть гидравлический радиус среднего поперечного сечения порового канала, то можно принять

$$k = f_1(m)\,\delta^2,$$

где $f_1(m)$ — определенная функция пористости m.

Если d есть диаметр шарообразных частиц, из которых построена пористая среда, то в этом случае можно принять

$$k = f_2(m)\,d^2.$$

Обозначая через c_1 и c_2 постоянные коэффициенты, можно принять приближенно, по Слихтеру и Козени,

$$f_2(m) = c_1 m^{3.3}, \qquad f_2(m) = c_2 m^4.$$

Если сжимаемая жидкость движется в поле сил, компоненты которых, отнесенные к единице массы, суть X, Y, Z, то имеем введенные нами следующие выражения для компонентов скоростей ламинарной фильтрации:

$$\begin{aligned} u &= \frac{k\rho}{\mu}\left(X - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\right), \\ v &= \frac{k\rho}{\mu}\left(Y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\right), \\ w &= \frac{k\rho}{\mu}\left(Z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\right). \end{aligned} \tag{9}$$

Внося (9) в уравнение (5), мы получим основное уравнение ламинарной фильтрации в неизменяемой пористой среде

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k\rho}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k\rho}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\rho}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z}\right) = m\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k\rho^2}{\mu}X\right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k\rho^2}{\mu}Y\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\rho^2}{\mu}Z\right). \tag{10}$$

Проницаемость k вообще различна в разных точках пористой среды и поэтому должна быть рассматриваема как известная функция координат

$$k = k(x, y, z). \tag{11}$$

84*

Иногда же проницаемость k должна быть рассматриваема как функция давления

$$k=k(p). \tag{12}$$

Коэффициент абсолютной вязкости μ есть известная функция одного давления p

$$\mu=\mu(p). \tag{13}$$

Если ввести новую функцию

$$q=q(p)=\int \rho dp, \tag{14}$$

то

$$p=p(q), \qquad \rho=\rho(q). \tag{15}$$

Предполагая движение в поле земной тяжести, причем ось z направлена вертикально вверх, получим из уравнения (10) следующее основное уравнение для движения тяжелой сжимаемой жидкости

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial q}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial q}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial q}{\partial z}\right)=m\frac{d\rho}{dq}\frac{\partial q}{\partial t}-g\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\rho^2}{\mu}\right). \tag{16}$$

Если принять k и μ постоянными и пренебречь действием тяжести, то получим простейшее уравнение ламинарного движения газа в пористой среде

$$\nabla^2 q=\frac{\partial^2 q}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 q}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 q}{\partial z^2}=\left(\frac{m\mu}{k}\frac{d\rho}{dq}\right)\frac{\partial q}{\partial t}. \tag{17}$$

Если характеристическое уравнение имеет вид

$$p=\beta\rho, \tag{18}$$

где β — постоянное, то уравнение (17) примет вид

$$\nabla^2 q=\frac{\varepsilon}{\sqrt{q}}\frac{\partial q}{\partial t}, \tag{19}$$

где

$$\varepsilon=\frac{m\mu}{k\sqrt{2\beta}}. \tag{20}$$

Уравнение (19) есть нелинейное дифференциальное уравнение с частными производными второго порядка параболического типа.

Его интегрирование при заданном начальном условии и при заданных граничных условиях — трудная задача анализа.

Применение уравнения (19) к практическим задачам нефтяного и газового дела можно найти в нашей работе «Подземная гидравлика воды, нефти и газа» [4].

Если жидкость мало сжимаема, то с достаточною точностью можно представить характеристическое уравнение в виде

$$\rho-\rho_0=\frac{\rho_0}{\alpha}(p-p_0), \tag{21}$$

где α — модуль объемной упругости жидкости, ρ_0 и p_0 — постоянные величины. В этом случае из уравнения (10) при постоянных k и μ мы получим следующее уравнение движения слегка сжимаемой тяжелой жидкости:

$$\nabla^2 p=\frac{1}{\alpha}\left[\frac{m\mu}{k}\frac{\partial p}{\partial t}-2g\rho_0\frac{\partial p}{\partial z}\right]. \tag{22}$$

Если силой тяжести пренебречь, то получится упрощенное уравнение так называемого *упругого режима фильтрации*, которое совпадает с уравнением теплопроводности. Если с изменением давления пористая среда деформируется, то, полагая в уравнении (3)

$$q_0=0$$

и используя (4), мы получим уравнение В. Н. Щелкачева

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}+\frac{\rho}{\alpha_1}\frac{\partial p}{\partial t}+m\frac{\partial \rho}{\partial t}=0. \tag{23}$$

Отсюда имеем для движения тяжелой, мало сжимаемой жидкости в деформируемой пористой среде

$$\nabla^2 p=\frac{m\rho_0}{k\alpha}\left(1+\frac{\alpha}{m\alpha_1}\right)\frac{\partial p}{\partial t}-\frac{2g\rho_0}{\alpha}\frac{\partial p}{\partial z}. \tag{24}$$

Если эффектом тяжести пренебречь, то мы получим *упрощенное уравнение В. Н. Щелкачева*

$$\nabla^2 p=\frac{m\mu}{k\alpha}\left(1+\frac{\alpha}{m\alpha_1}\right)\frac{\partial p}{\partial t}, \tag{25}$$

совпадающее с уравнением теплопроводности. Оно имеет обширное применение в работах В. Н. Щелкачева по теории нефтедобычи.

В частном случае тяжелой несжимаемой жидкости направим ось z вертикально вверх и, считая коэффициент фильтрации постоянным, получим уравнение Лапласа

$$\nabla^2 p = 0, \tag{26}$$

где, как обычно,

$$\nabla^2(\ \ ) = \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\ \ ) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}(\ \ ) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}(\ \ ). \tag{27}$$

Это уравнение имеет широкое приложение в теории фильтрации жидкости как в задачах о движении воды в пористом пласте в применении к нефтяным и артезианским скважинам, так и в вопросах о движении воды под гидротехническими сооружениями и при просачивании ее через плотину.

В этом направлении особенно замечательны работы Н. Е. Жуковского, Н. Н. Павловского и П. Я. Кочиной.

§ 3. Основное уравнение турбулентной фильтрации сжимаемой жидкости в пористой среде. Компоненты скорости турбулентной фильтрации по прямоугольным осям x, y, z определяются из соотношений

$$\begin{aligned} \frac{\sqrt{k}}{\mu}\rho u &= \theta\left(\frac{\partial q}{\partial x} - \rho^2 X\right), \\ \frac{\sqrt{k}}{\mu}\rho v &= \theta\left(\frac{\partial q}{\partial y} - \rho^2 Y\right), \\ \frac{\sqrt{k}}{\mu}\rho w &= \theta\left(\frac{\partial q}{\partial z} - \rho^2 Z\right), \end{aligned} \tag{28}$$

где

$$D = \frac{k^{3/2}}{\mu^2}, \tag{29}$$

$$\theta(p) = \frac{f(D\sqrt{\Delta_1 q})}{\sqrt{\Delta_1 q}}, \tag{30}$$

$$\Delta_1 q = \left(\frac{\partial q}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial z}\right)^2. \tag{31}$$

Здесь в основу положен закон турбулентной фильтрации

$$R = f(\Omega),$$

причем обозначено

$$R = \frac{w\rho\sqrt{k}}{\mu},$$

$$\Omega = D\frac{dq}{dh}. \qquad (32)$$

Внося (28) в уравнение (5), мы получим основное уравнение турбулентной фильтрации сжимаемой жидкости в пористой среде

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\mu}{\sqrt{k}}\theta\left(\frac{\partial q}{\partial x} - \rho^2 X\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\mu}{\sqrt{k}}\theta\left(\frac{\partial q}{\partial y} - \rho^2 Y\right)\right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\mu}{\sqrt{k}}\theta\left(\frac{\partial q}{\partial z} - \rho^2 Z\right)\right] + m\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \qquad (33)$$

В частном случае несжимаемой жидкости плотность ρ есть величина постоянная. Поэтому по формулам (14) и (31) мы имеем

$$q = \rho p, \quad \Delta_1 q = \rho^2 \Delta_1 p.$$

Полагая вязкость μ и проницаемость k постоянными, мы получим из (33) уравнение

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\theta_1\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\theta_1\frac{\partial p}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta_1\frac{\partial p}{\partial z}\right) = 0, \qquad (34)$$

причем обозначено

$$\theta_1 = \frac{f(\rho D\sqrt{\Delta_1 p})}{\sqrt{\Delta_1 p}}.$$

Так как множитель ρD есть величина постоянная, то просто принимают

$$\theta_1 = \varphi(\Delta_1 p),$$

где вид функции φ известен.

Задаче фильтрации воды в пористой среде при нелинейном законе посвящено опубликованное в 1940 г. исследование академика С. А. Христиановича [13].

§ 4. Уравнение ламинарного совместного движения жидкости и газа в неизменяемой пори-

стой среде. Предполагается, что газ, растворенный в жидкости под большим давлением, частично находится в виде мельчайших газовых пузырьков, размеры которых по мере падения давления все время растут, но остаются настолько малыми, что эти пузырьки свободно проходят через поровые каналы между частицами, из которых построена пористая среда.

Принимая, что растворимость газа в жидкости подчиняется закону Генри и что процесс изменения состояния газа в пористой среде есть изотермический, легко получить следующий закон изменения плотности смеси жидкости и газа при ее движении в пористой среде:

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 + \vartheta \frac{p_0 - p}{p}}, \tag{35}$$

где γ и γ_0 суть плотности смеси при давлениях p и p_0 и где

$$\vartheta = \frac{\beta c + \xi + \eta}{1 + \xi}, \tag{36}$$

$$\alpha p = \eta, \tag{37}$$

причем α есть постоянная величина, ξ есть начальное отношение объема газовой фазы смеси к объему жидкой фазы смеси при давлении p.

Для упрощения вычислений величина η может быть принята постоянной, определенной для некоторого среднего давления p; тогда величина ϑ, определенная формулой (36), будет постоянной величиной.

При движении газированной жидкости, как мы будем считать нашу смесь жидкости и газа, в поле сил (X, Y, Z), компоненты массовой скорости фильтрации определяются по формулам (9) в следующем виде:

$$\begin{aligned} u &= \frac{k\gamma}{\mu}\left(X - \frac{1}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial x}\right), \\ v &= \frac{k\gamma}{\mu}\left(Y - \frac{1}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial y}\right), \\ w &= \frac{k\gamma}{\mu}\left(Z - \frac{1}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial z}\right). \end{aligned} \tag{38}$$

Внося формулы (38) в уравнение неразрывности при движении смеси в неизменяемой пористой среде

$$\frac{\partial}{\partial x}(\gamma u)+\frac{\partial}{\partial y}(\gamma v)+\frac{\partial}{\partial z}(\gamma w)+m\frac{\partial\gamma}{\partial t}=0,$$

мы получим основное дифференциальное уравнение движения газированной жидкости в неизменяемой пористой среде, данное нами в 1934 г.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial\bar{q}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial\bar{q}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k}{\mu}\frac{\partial\bar{q}}{\partial z}\right)=m\frac{\partial\gamma}{\partial\bar{q}}\frac{\partial\bar{q}}{\partial t}+$$

$$+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k\gamma^2}{\mu}X\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k\gamma^2}{\mu}Y\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\gamma^2}{\mu}Z\right), \tag{39}$$

где

$$\bar{q}=\int\gamma dp. \tag{40}$$

Направив ось z вертикально вверх, считая отношение $\frac{k}{\mu}$ постоянным, а движение — в поле земной тяжести, мы получим из (39) дифференциальное уравнение движения тяжелой газированной жидкости в пористой среде

$$\nabla^2\bar{q}=\frac{d\gamma}{dp}\left(\frac{mp}{k}\frac{\partial p}{\partial t}-2g\gamma\frac{\partial p}{\partial z}\right). \tag{41}$$

Внося (35) в (40), получим

$$\bar{q}(p)=\frac{\gamma_0-p_0}{(1-\vartheta)^2}\psi(p), \tag{42}$$

где

$$\psi(p)=U-\vartheta\ln U \tag{43}$$

и введено обозначение

$$U=\frac{p}{p_0}+\vartheta\left(1-\frac{p}{p_0}\right). \tag{44}$$

Из формулы (42) мы имеем p как некоторую функцию от $\bar{q}$

$$p=p(\bar{q}). \tag{45}$$

Пренебрегая эффектом тяжести, мы получим уравнение движения газированной жидкости в виде

$$\nabla^2\bar{q}=\frac{m\mu}{k}M_1(\bar{q})\frac{\partial\bar{q}}{\partial t}. \tag{46}$$

Вид функции $M_1(q)$ известен.

Таким образом, получается возможность математического исследования движения газированной жидкости в пористой среде. Конечно, должны быть заданы начальное условие, а также граничные условия.

В случае установившегося движения уравнение (46) принимает вид уравнения Лапласа

$$\nabla^2 \bar{q} = 0, \tag{47}$$

причем компоненты скорости фильтрации получатся из формул (38) в виде

$$\begin{aligned} \gamma u &= -\frac{k}{\mu}\frac{\partial \bar{q}}{\partial x}, \\ \gamma v &= -\frac{k}{\mu}\frac{\partial \bar{q}}{\partial y}, \\ \gamma w &= -\frac{k}{\mu}\frac{\partial \bar{q}}{\partial z}. \end{aligned} \tag{48}$$

§ 5. Экспериментальные исследования. В 1928 г. в бывш. Государственном нефтяном институте (ГИНИ) Д. С. Вилькером были проведены опыты по исследованию установившегося и неустановившегося одноразмерного движения воздуха в песке. В 1931—1932 гг. эти исследования были продолжены И. П. Москальковым. В 1932—1933 гг. в гидродинамической лаборатории имени Н. Е. Жуковского в Московском университете Д. С. Вилькером были проведены опыты по изучению неустановившейся одноразмерной фильтрации воздуха.

Подробные описания и анализ этих экспериментальных исследований, проводившихся под руководством Л. С. Лейбензона, содержатся в работах [3, 4, 5, 6, 8, 12]. Сопоставление результатов этих исследований [3, 4 и 5] с изложенной выше теорией фильтрации газов показало полное совпадение в случае установившегося движения и достаточно хорошее соответствие в случае неустановившейся фильтрации. Это позволяет надеяться, что созданная в нашей стране теория движения газов в пористой среде представляет собой надежную основу для разработки аналитических принципов рациональной эксплоатации газовых месторождений.

В настоящее время на вновь созданной экспериментальной установке в МГУ Д. С. Вилькером и Б. Б. Лапуком ведутся исследования движения газа в пористой среде при давлениях до 150 атмосфер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Е. Жуковский.* Теоретическое исследование о движении подпочвенных вод. ЖФХО, 1889, т. 21.
2. *Н. Н. Павловский.* Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения. Л., 1922.
3. *Л. С. Лейбензон.* Движение газа в пористой среде. Нефтяное хоз-во, 1929 и 1930.
4. *Л. С. Лейбензон.* Подземная гидравлика воды, нефти и газа. М., 1934.
5. *Л. С. Лейбензон.* Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М., 1947.
6. *Л. С. Лейбензон.* Основной закон движения газа в пористой среде. ДАН СССР, 1945.
7. *Л. С. Лейбензон.* Движение газированной жидкости в пористой среде. Изв. АН СССР, серия географ. и геофиз., 1941.
8. *Д. С. Вилькер.* Истечение воздуха из пористой среды. Сб. «Природные газы», № 9, 1935.
9. *Б. Б. Лапук.* Газодинамические основы разработки месторождений природных газов. Докторская диссертация. МНИ, 1946.
10. *Б. Б. Лапук.* О распределении давления в газовых залежах. Нефтяное хоз-во, 1947.
11. *П. Я. Кочина.* Некоторые задачи плоского движения грунтовых вод. Изд. АН СССР, 1942.
12. *И. П. Москальков.* К вопросу об изучении законов движения газов в пористой среде. Нефтяное хоз-во, 1930, № 3.
13. *С. А. Христианович.* Движение грунтовых вод, не следующих закону Дарси. Прикл. матем. и мех., 1940, т. 4.
14. *И. А. Чарный.* О притоке нефти к скважинам. ДАН СССР, т. 42, № 4 и 5.
15. *И. А. Чарный.* О наивыгоднейшей расстановке рядов скважин в нефтяных пластах с водонапорным режимом. Изв. АН СССР, ОТН, 1945, № 1—2.

Академик
Н. Т. Гудцов

РАБОТЫ А. А. БАЙКОВА В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ

Первые приближенные теории строения металлов создавались основоположниками металлографии в самом конце XIX и начале XX века методом подчинения металлических систем законам достаточно хорошо изученного физической химией состояния жидких растворов. Искусственность подобного метода создания теории металлического состояния остро ощущалась вдумчивыми исследователями, направлявшими свою творческую научную мысль на раскрытие действительных законов природы, управляющих как самим строением металла, так и всеми превращениями и изменениями, совершающимися в кристаллических системах различных металлов и сплавов.

Блестящую попытку создания самостоятельной, не заимствованной у квазиродственных состояний, теории строения металлических систем осуществил в 1907 г. крупнейший теоретик металлургии и металлографии академик Александр Александрович Байков. В 1907 г. появилась замечательная работа[1] А. А. Байкова под заглавием «Кристаллизация и структура стали. Статья первая». В этой статье Байков со свойственной его работам ясностью изложения и отчетливостью устанавливаемых

[1] Изв. СПб. Политехн. ин-та, 1907, т. 8. Отд. техн., естеств. и матем., вып. I, стр. 289—299; ЖРФХО, 1907, т. 39, отд. I, стр. 399—410.



АБайков

положений попытался создать самостоятельную теорию строения стали, исходя из основного положения — кристаллической формы строения стали, резко отличающей металлы от жидких некристаллических растворов.

Установив основные понятия и действующие функциональные зависимости, А. А. Байков направил свою творческую энергию на скорейшее пополнение наших знаний достоверными данными лабораторного опыта, на раскрытие всех тех закономерностей, которые управляют изменениями металлического состояния при нагревании, охлаждении, деформировании металла.

Наступил период интенсивнейшей научно-исследовательской работы по изучению процессов, совершающихся в металлах и сплавах при их нагревании, охлаждении, деформировании. Но эта напряженная работа все же не давала того, что было нужно Александру Александровичу для продолжения его теоретического труда по металлографии стали. Ему стало совершенно ясно, что для более глубокого распознавания природы металла необходимо в первую очередь искать новых методов исследования, новых путей в изучении строения металлов. Его мысль обратилась к остроумным опытам французского металлографа Флориса Осмонда, произведенным за несколько лет до этого. Осмонд, увлеченный идеей познания природы полиморфных превращений железа, разработал метод травления структуры металла при нагреве отшлифованной поверхности его до любой намеченной температуры в пределах возможности лабораторных нагревательных печей. Задачу изолирования шлифованной поверхности от воздействия кислорода Осмонд разрешил путем использования потока водорода во всей системе нагревательного устройства, не подозревая о возможности воздействия водорода на нагретую шлифованную поверхность металла.

А. А. Байков повторил сам в своей лаборатории опыт Осмонда, получил совершенно аналогичные результаты, [1] но убедился при этом в существовании воздействия водорода на нагретую поверхность стальных образцов: все образцы приобрели наружный вид серебристый, совершенно отличный от первоначальной естественной окраски стальных образцов.

---

[1] Sur la structure des aciers aux temperatures élevées. Rev. de Mét., 1909, № 7, стр. 829 — 834.

К участию в своих дальнейших изысканиях Александр Александрович привлек меня в качестве своего ученика, стремившегося специализироваться в области изучения природы металлов и сплавов.

Немногочисленные опыты нагрева стальных образцов в атмосфере других различных, кроме водорода, газов быстро показали, что разрешить проблему травления металлов в атмосфере какого-либо газа невозможно, в результате чего А. А. принял смелое решение перейти к созданию совершенного вакуума и производить травление стальных образцов в полной пустоте. Александр Александрович принял живейшее участие в моих работах по созданию прибора для травления нагретых образцов в вакууме. Существеннейшее затруднение состояло здесь в том, что для успеха травления нагретых шлифов требовалась совершенная пустота, полная эвакуация всех остаточных газовых молекул из рабочего пространства нагревательного устройства.

Даже самые совершенные газовые насосы не могли обеспечить требовавшуюся нам степень эвакуации газовых молекул. Александр Александрович предложил использовать для этой цели поглотительную способность угля кокосовых орехов, охлажденного до температуры жидкого воздуха. Идея эта была осуществлена в сконструированном мною приборе для травления шлифов стали в вакууме при высоких температурах. Проверка степени эвакуации газовых частиц могла быть произведена только путем наблюдения явлений разряда в гейслеровой трубке, включенной в систему прибора. После соединения рабочего пространства печи, доведенной до состояния высокого вакуума, с колбочкой, в которой находился уголь кокосовых орехов, охлажденный до температуры жидкого воздуха, можно было наблюдать в гейслеровой трубке быструю смену явлений разряда в разреженных газах, заканчивавшуюся полным отсутствием разряда, т. е. получение совершенного вакуума.

Шлифованные образцы стали различного состава с содержанием углерода, изменявшимся от 0.08 до 1.94%, были подвергнуты пробному нагреву в вакууме без травления до 1000° и последующему охлаждению до комнатной температуры. Внешний вид образцов при этом нисколько не изменился ни по окраске, ни по блеску, из чего можно было сделать заключение о полной пригодности прибора для травления образцов стали при высоких температурах.

В дальнейшем мы приступили к интенсивному проведению опытов

травления образцов стали различного состава при различных температурах нагрева. Опыты дали чрезвычайно ценные результаты: на протравленных шлифах можно было при рассматривании в микроскоп зафиксировать основные типы структур различных полиморфных кристаллических разновидностей железа, можно было уловить те изменения структур, которые совершаются в моменты превращений.

Все это получено было впервые в науке о металлах.

Параллельно с нашей работой разрешалась в Германии аналогичная задача проф. П. Обергоффером. Ему удалось построить целую систему микроскопа с помещением изучаемого образца металла в миниатюрную электрическую печь. Вся оптическая система микроскопа была специально для этой цели изготовлена из кварца фирмою Цейсса в Иене. Обергоффер надеялся непосредственно в микроскоп наблюдать изменение структуры стали при соответствующем нагревании образца. Но ожидания эти не сбылись. На поверхности зеркально отполированного шлифа ничего нельзя было наблюдать, ибо все изменения происходили за наружной зеркальной пленкой, как за театральным занавесом.

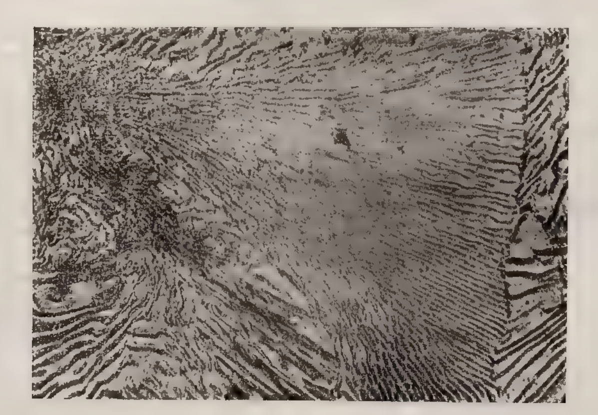
Применение травления обесценивало всю чрезвычайно дорогую установку Обергоффера и все же позволяло увидеть структуру только одного момента, одного уровня температуры, при котором произведено травление.

Таким образом, нами задача была разрешена более совершенно, чем Обергоффером.

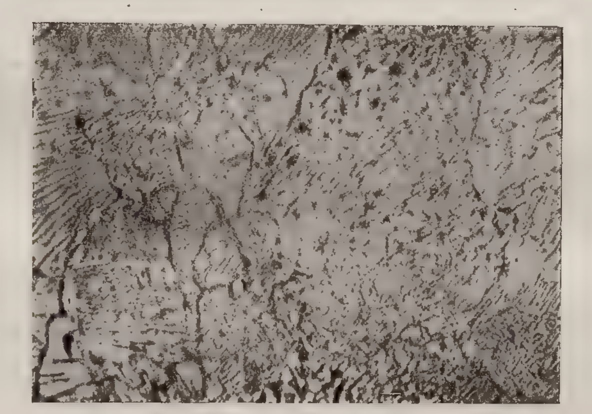
Очень интересна была самая природа протравленных пленок на поверхности охлаждавшихся образцов. Пленка эта показывала строение металла при температуре травления. Но стоило лишь слегка потереть шлиф о кожу или о сукно, как эта пленка исчезала, и на шлифе после протравления его в холодном виде можно было видеть обычную структуру стали.

Приведем для примера несколько микрофотографий структуры стальных образцов, протравленных в нашем приборе при высоких температурах (снимки эти публикуются впервые).

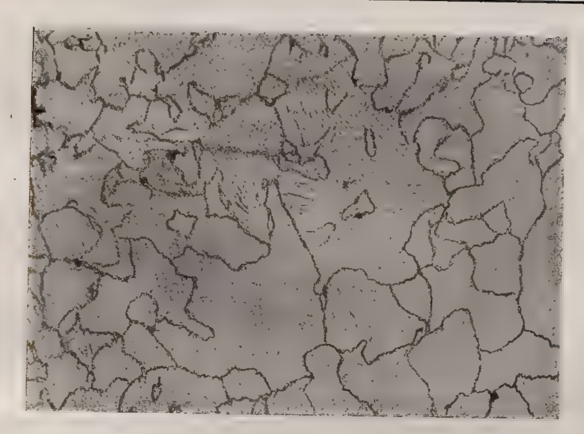
Фиг. 1 — сталь углеродистая, инструментальная с содержанием углерода 0.85%; образец обработан специально на развитие чрезвычайно крупной структуры пластинчатого перлита, шлиф протравлен и сфотографирован при комнатной температуре (×750).



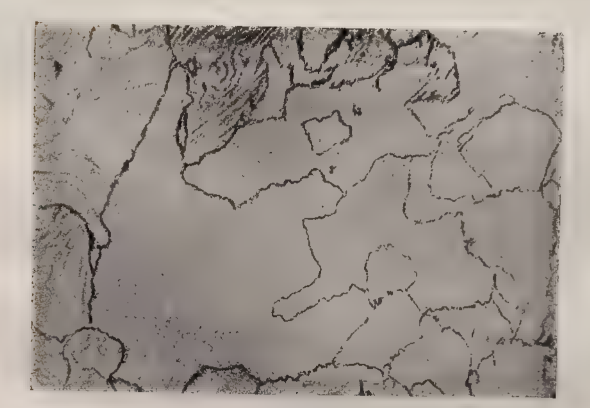
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 3а

Фиг. 2 — структура того же образца инструментальной стали, протравленной при 725° с очень малой выдержкой при этой температуре и сфотографированной при комнатной температуре (×750). На снимке ясно видно протекание превращения: пластинки карбида железа быстро исчезают.

Фиг. 3 и 3а — структура того же образца стали, протравленная при 800° и сфотографированная при комнатной температуре (×500 и 750). Заметно отсутствие пластинок цементита.

Фиг. 4 и 4а — сталь инструментальная высокоуглеродистая с содержанием углерода 1.35%, шлиф протравлен и сфотографирован при комнатной температуре (×500).

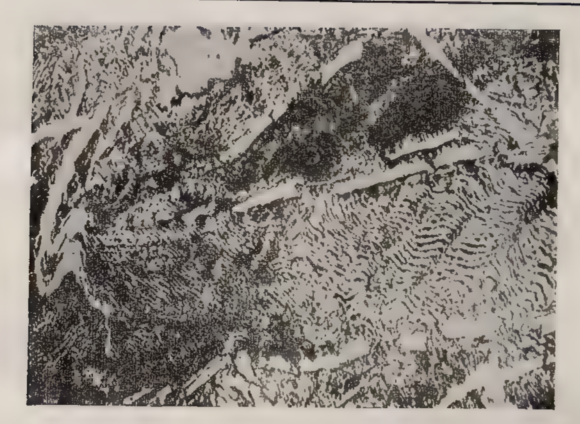
Фиг. 5 и 5а — структура того же образца высокоуглеродистой инструментальной стали, протравленной при 625°, сфотографированная при комнатной температуре (×750). Заметны неизмененные формы избыточного цементита и протекание явления сфероидизации перлитного (эвтектоидного) цементита.

Фиг. 6 и 6а — структура того же образца высокоуглеродистой инструментальной стали, протравленная при 1070° и сфотографированная при комнатной температуре (×750 и 500). Видно исчезновение образований избыточного карбида.

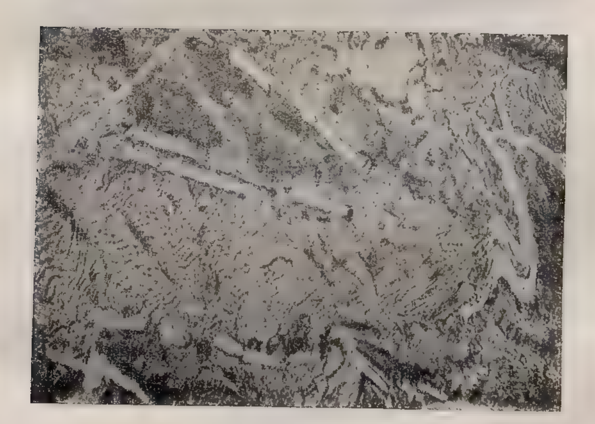
Фиг. 7 — структура образца стали, содержащей 1.68% C, протравленная и сфотографированная при комнатной температуре (×750). Заметны массовые образования избыточного цементита в форме толстых игол.

Фиг. 8 — структура того же образца высокоуглеродистой стали, протравленная при нагреве образца до 985° и сфотографированная при комнатной температуре (×750). Заметно отсутствие образований карбида железа; вместо массивных образований избыточного карбида видны сильно протравившиеся пятна участков твердого раствора, обогащенных присутствием большого числа атомов углерода, повидимому, достигающих концентрации свыше 6.7%.

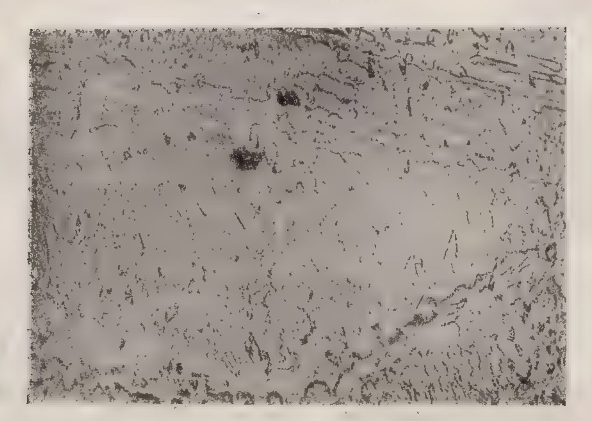
Примечание. Протравленный при 985° шлиф сфотографирован в том участке, где первоначально, до нагревания, избыточный цементит располагался в форме массивной сетки, характерной для белого чугуна.



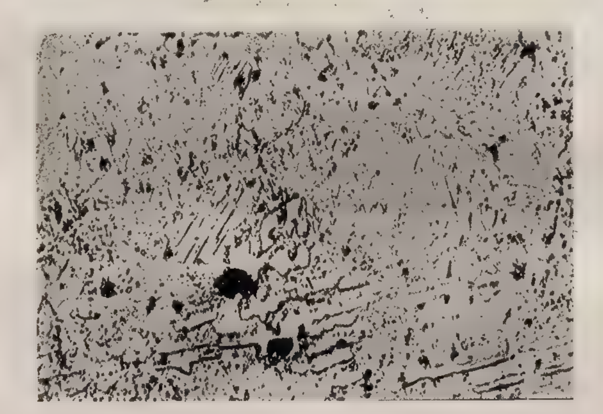
Фиг. 4



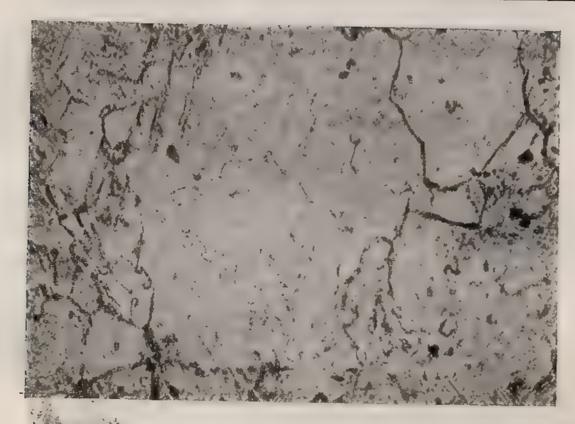
Фиг. 4а



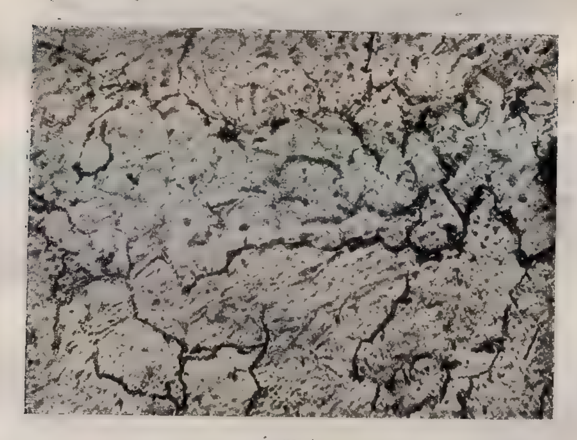
Фиг. 5



Фиг. 5а



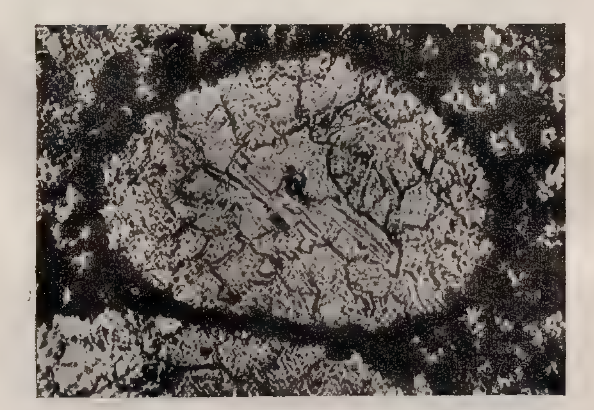
Фиг. 6



Фиг. 6a



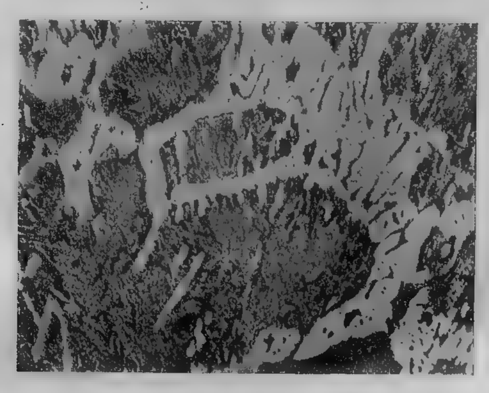
Фиг. 7



Фиг. 8

Фиг. 9 — структура белого чугуна, протравлена и сфотографирована при комнатной температуре (×500).

Фиг. 10 — структура того же образца чугуна, протравленная при 625° и сфотографированная при комнатной температуре (×500). Изменения структуры незначительны.



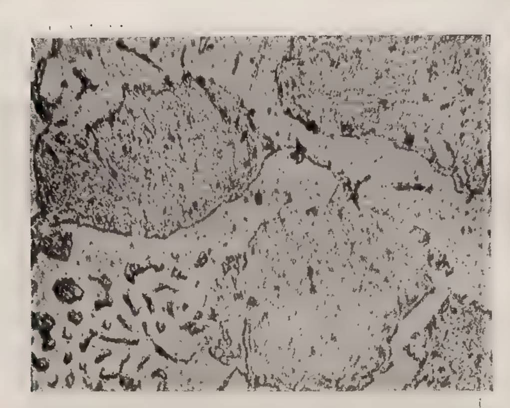
Фиг. 9

Фиг. 11 — структура того же образца белого чугуна, протравленная при 725° и сфотографированная при комнатной температуре (×500). Заметно превращение перлита, характеризующееся исчезновением карбида.

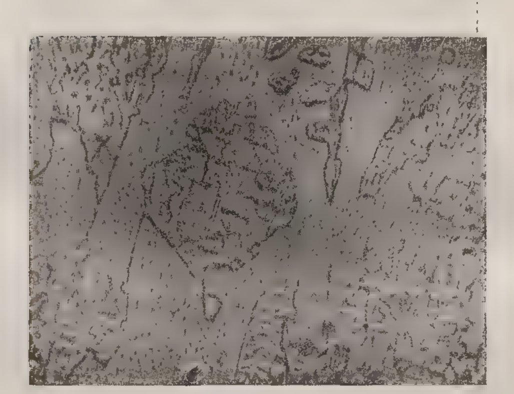
Фиг. 12 — структура того же образца белого чугуна, протравленная при 1070° и сфотографированная при комнатной температуре (×500). Заметно незакончившееся превращение в участках избыточного карбида.

Работа эта послужила материалом для блестящего доклада А. А. Байкова, посвященного памяти Флориса Осмонда.

К сожалению, вся работа и имевшийся большой альбом снимков были утеряны за годы отсутствия А. А. Байкова из Ленинградского Политехнического института, и публикуемые в настоящей статье снимки представляют собою сохранившиеся у меня дубликаты некоторых микрофотографий.



Фиг. 10



Фиг. 11

Быстрое развитие рентгеноструктурного анализа металлов в течение третьего десятилетия XX века несколько снизило интерес к разработанному А. А. Байковым совместно со мною способу изучения металлов. Но в настоящее время, когда на первое место в металлургии специальной стали становится жароупорная сталь и теплоустойчивая сталь, необходимость использования метода травления металлов при высоких темпе-



Фиг. 12

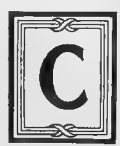
ратурах становится настойчивой и совершенно неизбежной при изучении таких явлений, как тепловая хрупкость, отпускная хрупкость, дисперсионное твердение, возникновение новых молекулярных фаз из твердого раствора и многих других.

Поэтому остается пожелать, чтобы лаборатории наших ведущих исследовательских учреждений уделили должное внимание разработанному нами методу и использовали его для изучения жароупорной стали, а также частично и теплоустойчивой стали, придав самому прибору более компактную конструктивную форму, каковая могла бы значительно облегчить освоение нового метода в многочисленных металлографических лабораториях нашего Отечества.

Академик

В. П. Никитин

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ МЫСЛИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ



варка металлов посредством электрической дуги — выдающееся русское изобретение. Еще в 1803 г. одновременно с описанием открытого им явления электрической дуги академик В. В. Петров[1] так сообщал о своих замечательных опытах: «Когда тонкая, железная проволока... сообщенная с одним полюсом огромной батареи, будет употреблена для опыта и поднесена к углю, сообщенному с другим полюсом батареи, то между ними является также больше или меньше яркое пламя, от которого... конец проволоки почти во мгновение ока краснеет, скоро расплавляется и начинает гореть с пламенем и разбрасыванием весьма многих искр по различным направлениям».

В этом сообщении академика Петрова о впервые произведенном расплавлении металла электрической дугой содержится не только первое указание на возможность такого расплавления, но и описывается в точности явление дуги, которое мы наблюдаем при сварке металлов.

Однако первое практическое применение дуга в электрической сварке металлов получила лишь в 1882 г., когда русским изобретателем

---

[1] «Известие о гальвани-вольтовских опытах, которые производил профессор физики Василий Петров посредством огромной наипаче батареи, состоявшей иногда из 4200 медных и цинковых кружков и находящейся при Санкт-Петербургской медико-хирургической академии».

Н. Н. Бенардосом был создан в Петербурге «способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», названный им «электрогефестом».

По заключению академиков Н. С. Курнакова, О. Д. Хвольсона и других сущность этого способа состояла в том, что обрабатываемый предмет соединялся с одним, а уголь с другим полюсом электрического источника, и образующейся между обрабатываемым предметом и углем вольтовой дугой производилось действие, подобное тому, которое производится пламенем паяльной трубки при накаливании и сплавлении металлов. Специальный угольный электрод или электрод «из другого проводящего вещества» вставлялся в держатель, а дуга поддерживалась от руки.

В 1888—1890 гг. способ использования тепла электрической дуги для сварки металлов был усовершенствован горным инженером Н. Г. Славяновым [1], заменившим угольный электрод исключительно металлическим и разработавшим полуавтомат для подачи металлического электрода по мере его сгорания и поддержания дуги, названный им «плавильником».

Сущность способов электрической дуговой сварки, созданных в результате замечательных работ академика В. В. Петрова и талантливых инженеров-изобретателей Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова, остается неизменной до наших дней и может быть охарактеризована следующим образом. Электрическая дуга, образующаяся между электродом и соединяемыми частями изделия, своим теплом оплавляет основной материал изделия и расплавляет подаваемый в зону пламени дуги электрод-присадочный материал, который в виде капель расплавленного металла заполняет место соединения и сплавляется с основным металлом изделия. Общее тепловыделение дуги при этом регулируется путем подбора соответствующего режима, основным параметром которого является ток.

В практическом применении в способы вносились и вносятся многочисленные усовершенствования, не меняющие существа процесса, но повышающие его практическую ценность.

Развитие способов сварки шло вместе с развитием энергетических основ сварочной техники в направлении повышения качества и производительности сварочных работ.

Основными условиями, способствовавшими этому развитию, были: 1) обеспечение устойчивой работы дуги и 2) получение надлежащего качества и прочности соединения.

Первое условие было выполнено путем создания источников тока, обладающих характеристиками, отвечающими свойствам электрической дуги в условиях сварки. Дуга как основной источник нагрева и потребитель энергии при сварке характеризуется динамической нагрузкой, при которой в промежутки времени, измеряемые сотыми долями секунды, в цепи дуги происходят резкие изменения электрического режима. Плавление электрода и переход металла с электрода на изделие вызывает резкие колебания длины дуги и повторяющиеся через очень малые промежутки времени короткие замыкания источника питания дуги (до 30 раз в секунду). Ток и напряжение при этом не сохраняют постоянства своего значения, а имеют мгновенные изменения, от некоторого значения до максимального и обратно. Подобные резкие изменения нагрузки нарушают состояние равновесия системы электрическая дуга — источник тока.

Чтобы дуга могла гореть длительно при определенной величине тока, не угасая и не переходя в другие формы электрического разряда, необходимо, чтобы источник тока, питающий дугу, быстро реагировал на происходящие изменения в режиме дуги и обеспечивал ее устойчивую работу.

В начале развития электросварочного машиностроения это осуществлялось путем применения балластных сопротивлений, включаемых для ограничения тока и успокоения дуги последовательно в главную цепь нормальных электрических машин. В дальнейшем были созданы специальные источники тока с падающими характеристиками и малой магнитной инерцией, полностью обеспечивавшие требования, вытекающие из свойств сварочной дуги.

Параллельно с развитием электросварочного машиностроения, начало которому было положено в 1924 г., на заводе «Электрик» в Ленинграде проводились исследования, позволившие установить основные параметры статической характеристики дуги в условиях сварки и исследовать оптимальные условия и основные электрические параметры источников тока и их влияние на устойчивость и непрерывность горения дуги при сварке [2].

В последующий период на основе исследований статики и динамики процесса в электросварочных машинах разрабатывается классификация систем сварочных машин и аппаратов и создается единая обобщенная теория сварочных машин [3].

Работы в области электросварочного машиностроения позволили произвести критический анализ систем и установить оптимальные типы для отечественного производства.

Выполнение второго условия, т. е. получение качественного соединения, равнопрочного основному металлу, достигалось применением специальных мероприятий, вытекающих из самого существа процесса.

Процесс электрической дуговой сварки представляет очень сложный комплекс явлений физических, химических и электрических, протекающих непрерывно во всех стадиях в чрезвычайно короткие промежутки времени.

По сравнению с обычными металлургическими процессами плавления металла сварочный процесс отличается:

а) малым объемом ванны расплавленного металла,

б) высокими температурами нагрева металла, что при больших скоростях и локализованном характере нагрева приводит к высоким градиентам температур,

в) неразрывной связью между наплавленным металлом и основным, причем последний является как бы изложницей для первого.

Таким образом, нагретый и расплавленный металл в малой по объему сварочной ванне окружен значительной массой основного металла, имеющего более низкую температуру. Это обстоятельство, естественно, определяет большие скорости нагрева и охлаждения металла и как следствие определяет характер и направление реакций, протекающих в сварочной ванне. Проходя через дуговой промежуток, расплавленный присадочный металл подвергается воздействию атмосферы дуги при очень высоких температурах, что влечет за собой окисление металла и поглощение им газов, причем в дуге наблюдается активизация инертных газов (в первую очередь азота), активность которых в обычных металлургических процессах незначительна. Воздействию атмосферы дуги также подвергается расплавленный металл в сварочной ванне, где протекают физико-химические реакции между металлом, его примесями и поглощенными им газами. В результате этих явлений наплавленный металл шва имеет повы-

шенное содержание кислорода и азота, что, как известно, снижает механические характеристики металла.

При переходе металла в дуге и пребывании его в расплавленном состоянии в месте соединения выгорают примеси в железе (C, Mn, Si), а также легирующие присадки, что также ухудшает механические свойства металла. Газы, образующиеся при выгорании примесей (C), а также растворенные в металле, при отвердевании расплавленного металла могут привести к образованию в наплавленном металле раковин и пор.

Таким образом, процессы, протекающие при сварке, затрудняют получение наплавленного металла высокого качества. Эти трудности оказались такими, что получение сварного шва с характеристиками, приближающимися к характеристикам свариваемого металла (что является основным показателем качества сварки), без принятия специальных мер оказалось невозможным.

Основным мероприятием, повышающим качество и прочность соединения металла, в существующих методах электродуговой сварки было применение специальных покрытий-обмазок на электродах. Вначале функцией подобных покрытий-обмазок было облегчить зажигание и увеличить устойчивость дуги благодаря их ионизирующему действию. В дальнейшем, с развитием толстых или качественных покрытий, функцией которых, помимо увеличения устойчивости дуги, являлось улучшение химического состава и структуры наплавленного металла, было значительное повышение качества сварки.

Развитие специальных покрытий на электродах позволило в последние годы распространить применение основных способов для сварки и резки металлов под водой [4]. В этом случае назначение покрытий на электродах еще заключается в том, чтобы вследствие своего более медленного сгорания, чем электрод, поддерживать защитный козырек вокруг дуги, и газами, выделяющимися при сгорании покрытий, образовать пузырь, в котором горит дуга. Одновременно с повышением качества сварного соединения шло и повышение производительности сварочных работ, которое при ручной сварке достигалось увеличением мощности сварочной дуги с одновременным увеличением диаметра металлического электрода.

Значительное повышение мощности и увеличение размеров электродов привело к замене ручной сварки автоматической. Наибольшие трудности

в автоматической сварке представлял вопрос об электродных покрытиях-обмазках, без которых качественная сварка при современных требованиях почти невозможна. Удачным решением явилась подача раздробленного зернообразного покрытия — флюса не на электрод, а на основной металл. В этом случае дуга горит под слоем флюса, благодаря чему более эффективно используется тепло дуги и шов защищается от воздействия воздуха [5]. Это дополнение явилось тем усовершенствованием основного способа сварки с металлическим электродом, которое позволило значительно повысить производительность и улучшить качество сварного шва.

Значение электрической дуговой сварки как одного из основных и передовых технологических процессов в решении задач, поставленных перед нашей техникой, является в настоящее время бесспорным. Опыт применения сварки в различных отраслях промышленности со всей очевидностью доказал, что этот метод металлообработки позволяет получить не только экономию металла (25—50%), но и значительно ускорить производство работ всех видов металлических конструкций. Объем применения сварочной техники в СССР перед войной можно иллюстрировать следующими цифрами: в эксплоатации находилось свыше 65 тыс. только электродуговых сварочных машин, продукция сварочных конструкций в год приближалась к 5 млн. т. В настоящее время объем применения сварки все возрастает.

Однако электрическая дуговая сварка как один из способов соединения металлов, успешно осуществляемый для однородных металлов, не исчерпывает всех вопросов соединения разнообразных металлов, так как механизм такого соединения изучен до сего времени недостаточно. С другой стороны, развитие техники и все увеличивающееся разнообразие применяемых в машиностроении металлов и деталей с биметаллическими поверхностями (износоустойчивыми, режущими, жароупорными, антикоррозийными и т. п.), а также широкое применение неметаллических материалов (пластмасса, керамические материалы и т. п.) в сочетании с металлами выдвигают проблему создания новых материалов и дальнейшую разработку физических основ и техники соединения однородных и разнородных металлов и материалов при производстве различных машин, механизмов и конструкций. Решение проблемы получения материалов с новыми техническими свойствами путем соединения разнородных металлов и сплавов целесообразно было искать не только в применении

дополнительных мер к основным способам электродуговой сварки (защитные покрытия-обмазки, флюсы и т. п.), но и на основе коренного изменения всей схемы процесса и изыскания новых способов соединения металлов.

Поиски новых путей естественно было направить в первую очередь на более эффективное использование энергии источников тепла, применяемых при существующих способах сварки, и изменение их теплоэнергетической основы.

В существующих способах сварки для двух различных тепловых процессов — подготовка оплавлением основного металла и расплавление присадочного металла — используется единый источник тепла (электрическая дуга, газовое пламя и т. п.). Регулирование этих тепловых процессов независимо друг от друга невозможно. Неизбежным следствием этого является жесткая зависимость в распределении тепла между основным и присадочным металлом. Идея разделить тепловые процессы подготовки основного и присадочного металла, сделать подготовку и подачу последнего сколь угодно большой и независимой от источника тепла, ведущего подготовку основного металла, была предложена автором еще в 1941 г. и осуществлена в секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии Академии Наук СССР путем создания нового метода соединения металлов с разделенными процессами плавления. В этом методе могут быть использованы применяемые при промышленном нагреве источники тепла — электрическая дуга, газовое пламя, токи высокой частоты и их различные сочетания. Установки, работающие по этой схеме, в зависимости от условий, определяемых областью применения, могут быть осуществлены в различных модификациях.

Возможность управления тепловым состоянием соединяемых металлов позволяет осуществить все переходные формы процесса соединения — от пластического до жидкого, расплавленного состояния. Это открывает новые возможности соединения не только разнородных металлов, но и неметаллических материалов между собой.

Отличительные свойства нового метода расширяют также перспективы получения неразъемного соединения в сталях, как конструкционных, так и специальных, и открывают широкие возможности для развития новой технологии, повышения качества и производительности процесса.

С усовершенствованием технологических процессов сварки повышалась прочность и надежность сварных конструкций. Вначале, когда сварочный процесс осуществлялся исключительно вручную голыми электродами или электродами с ионизирующими покрытиями, электрическая дуговая сварка находила применение во всевозможных работах восстановительного и ремонтного характера, а также в новых конструкциях, где отсутствовала динамическая нагрузка. Позднее, с развитием качественных покрытий на электродах, позволивших обеспечить высокие механические свойства сварного соединения не только из малоуглеродистой стали, но и из углеродистой и легированной сталей различных марок, сварные конструкции начали применяться в различных отраслях машиностроения: локомотивостроении, автостроении, сельскохозяйственном машиностроении, судостроении, в подъемнотранспортных сооружениях и механизмах, в электромашиностроении. Все вагонные и котельные конструкции в последние годы выполняются только цельносварными.

Ряд исследований посвящается изучению прочности сварных конструкций под действием статических и динамических нагрузок, на основе которых затем разрабатываются приемы рационального проектирования сварных конструкций [6].

Вопросы деформаций в конструкциях при сварке и методы борьбы с ними становятся предметом изучения и получают теоретическое и экспериментальное обобщение [7].

В последние годы получают развитие исследования температурного состояния металлов при сварке [8], позволяющие подойти к разрешению основных вопросов определения прочности сварных конструкций при объемно-напряженном их состоянии и наметить пути управления тепловым состоянием металла.

Развитие механизации и автоматизации процесса, направленное к непрерывному повышению производительности в сочетании с неуклонным повышением качества и прочности сварки, еще более расширяет области ее применения.

В настоящее время электрическая дуговая сварка является ведущим технологическим процессом при изготовлении всех видов металлических конструкций, работающих под действием статических и динамических нагрузок при низких и высоких температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Г. Славянов.* Электрическая отливка металлов. СПб., 1892.
2. *В. П. Никитин.* Свойства вольтовой дуги в применении к электросварке металлов, обусловливающие свойства источника тока, питающего дугу. Изв. Днепропетровского горного ин-та, т. 15, 1925—1927.
3. *В. П. Никитин.* Электрические машины и трансформаторы для электрической сварки. ОНТИ, 1937.
4. *К. К. Хренов.* Электрическая сварка и резка под водой. Автогенное дело, 1945, № 10.
5. «Steel»—23 января 1939; реферат на русском языке «Новый метод дуговой сварки» (Юнионмелт), Автогенное дело, 1939, № 5; *Е. О. Патон.* Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса. Там же, 1941, № 6.
6. *Г. А. Николаев* и *А. С. Гельман.* Сварные конструкции. 1947.
7. *Г. А. Николаев* и *Н. Н. Рыкалин.* Деформации конструкций при сварке.
8. *Н. Н. Рыкалин.* Теория распространения тепла при электродуговой сварке. Известия АН СССР, ОТН, № 1, 1947.

ИСТОРИЯ



Академик
Б. Д. Греков

ОБРАЗОВАНИЕ РУССКОГО ГОСУДАРСТВА



Большие успехи теоретической мысли и обогащение новым фактическим материалом, чем мы особенно обязаны нашей археологии, раскрывшие перед нами далекое прошлое восточных славян, решительно требуют полного пересмотра старых привычных представлений о жизни наших предков — хозяйственной, общественно-политической и культурной.

В свете новых данных и давно уже известные, но разрозненные факты приобретают сейчас иной смысл.

Один из самых кардинальных вопросов, подлежащих критическому пересмотру в наше время, — это вопрос об образовании Русского государства.

Для правильного решения этого вопроса необходимо прежде всего напомнить, что самое государство и в связи с этим проблему его образования мы понимаем сейчас не так, как понимали ученые прошедших веков. Наивное представление Нестора, повторяемое на разные лады учеными вплоть до нашего времени, никого сейчас удовлетворить не может.

Трех братьев-варягов, приглашенных в Новгород и ставших, таким образом, основателями Русского государства, уже в XVII веке пытались подменить тремя славянскими и даже русскими братьями Кием, Щеком и Хоривом, тем самым отодвигая момент образования Русского государства на неопределенное время назад, но оставляя «трех братьев»

в той же роли основателей государства («Киевский синопсис», глава «О первоначальных князех Киевских»). Историки XVIII века Татищев и Болтин тоже считали основателями государства династию славянских государей до Рюрика. По мнению Татищева, Рюрик принял уже готовое. Он наследовал престол по женской линии после прекращения «колена мужеска рода».

Видный немецкий историк Шлецер на рубеже XVIII и XIX веков своим авторитетом надолго утвердил мнение о том, что «свободным выбором в лице Рюрика основано государство Русское. Русская история начинается с Рюрика, который в середине IX столетия основал монархию» [5].

Правда, в XIX веке слышались иногда и отрезвляющие голоса ученых, не только не удовлетворяющихся рассуждениями о том, откуда пришли братья-варяги и кто они (этим занимались в течение двух веков русские норманисты и антинорманисты), но и отрицающих достоверность самого известия о призвании варягов [1].

Что касается западноевропейской исторической литературы, там скандинавская теория происхождения Русского государства царила без всякой оппозиции до самого последнего времени. Только в 1934 г. появилась интересная книга датского ученого Стендер-Петерсена [6], в которой автор приводит большое количество фактов, убедительно доказывающих весьма широкую распространенность в мировой исторической литературе легенды о призвании трех братьев. В недавнем труде Чедвик [4], имевшем целью сопоставить западные и восточные источники по вопросу о древнейшей истории России, автор также относит «призвание» к категории легенд, признает существование Русского государства в дорюриковскую пору и не ставит его происхождения в связь с Рюриком.

Конечно, решение этого интересного и важного вопроса — долг прежде всего русских ученых. Мы сейчас располагаем необходимыми для этого средствами. Начну с фактов, до сих пор либо неизвестных, либо игнорируемых, либо произвольно понимаемых.

1. Археологами открыта культура неизвестного нам народа, жившего за III—II тысячелетия до н. э. в Поднепровье и Поднестровье, т. е. на местах, где позднее возник центр Киевского государства. Это земледельческая культура, достаточно высокая. В середине I тысячелетия до н. э. Геродот посетил эту страну, которую греки называли Скифией, нашел здесь возделанные нивы и узнал от местных жителей, что они произ-

водят, кроме хлебных злаков, лук, чеснок, лен и коноплю, что они прекрасно знают плуг и в качестве тяговой силы используют волов. Известно также, что скифы производили хлеб не только для себя, но и на продажу.

Мы имеем все основания утверждать, что и славяне — народ земледельческий. Восточные славяне, иначе Русь, уже в IX веке вывозили лен на Восток через Дербент. А этого одного достаточно, чтобы признать земледельческую культуру Руси очень старой.

Тип родовых поселений начинает исчезать в Верхнем Поволжье в середине I тысячелетия н. э., когда становятся заметными новые формы общественного разделения труда. Некоторые из поселений уже занимаются специально обработкой железа, другие — бронзовыми изделиями, в третьих отмечается полное отсутствие обработки металла, что неизбежно предполагает наличие обмена между поселками. Появляются зачатки ремесла. Налицо предпосылки создания городов [2]. Наши археологи вскрыли наличие городов на Руси до IX века: Старая Ладога, как городское поселение, существует уже во всяком случае в VIII веке; Сарское городище (около Ростова Ярославского) — городское поселение VII—VIII веков. Гнездовское городище (предшественник Смоленска) относится тоже к периоду до IX века. На р. Псле археологом Рыбаковым открыты городские поселения еще более раннего времени.

2. Всем давно и хорошо известен интереснейший факт нахождения на территории нашей страны начиная с IV века огромного количества арабских монет. Главная их масса относится к VIII—XI векам. Явление это до недавнего времени вызывало у наших востоковедов недоумение. Действительно, если считать, как это часто делалось до сих пор, что Русь до IX века была страной родового строя, стоящей на низкой ступени культуры, то совершенно непонятно, как могли существовать широкие торговые связи арабов с нашей страной. На мордовской, например, территории до сих пор не найдено ни одного диргема, а на Руси их десятки тысяч. С народами мало культурными у арабов шла торговля меновая.

3. Древнейшие наши письменные памятники — договоры с греками (начало X века) и первая, самая старая часть «Краткой Русской Правды» (VIII—IX века) — уже знают классовое общество, знать, сумевшую закрепить за собой ряд привилегий, и зависимых от них людей, знают купцов, совершающих рейсы по пути «из Варяг в Греки».

4. Нам известны отрывочные сведения о славянах V—VI веков, об их образе жизни, хозяйстве, политическом строе. Известно движение так называемых «варварских» народов, направленное против рабовладельческого мира и в защиту собственной свободы. Известно, что народные массы Римского рабовладельческого государства давно уже стремились к соединению с «варварами» для общей с ними цели — борьбы за свою свободу, за лучшие условия жизни. Известна видная роль славян в этой борьбе, их победа и заселение части Восточной Римской империи, позволившее Константину Багрянородному заявить, что к VIII веку Балканский полуостров ославянился и, конечно, не только в этническом смысле, а и в смысле победы новых славянских общественных отношений, лучше обеспечивавших условия жизни не только для славян, но и для оставшегося здесь старого туземного населения.

Уже в VII веке имеют явные признаки государственности чехи, сербы, хорваты, болгары.

Восточные славяне, о которых источники отзываются как о самой многочисленной и сильной ветви славянства, конечно, не могли отставать в своем развитии от других славян, и мы с уверенностью можем утверждать, что они и не отставали. Об этом ясно говорит, например, отзыв крупного византийского историка Прокопия Кесарийского о религии восточных славян — антов. «Они считают, — пишет он, — что один только бог — творец молний (Перун. — *Б. Г.*) — является владыкой над всем...». Это уже достаточно развитая религия. В русском «Слове о том, как первое погани суще, языци кланялись идолам» изображены и более ранние стадии восточнославянской религии: прежде Перуна восточные славяне кланялись Роду и Рожаницам, а еще раньше — упырям. Перед нами три стадии в развитии религиозных представлений всех народов: 1) тотемическая религия, 2) культ предков, 3) культ единого высшего божества.

Идеология восточного славянства шла в уровень с развитием материальной культуры и общественности.

Едва ли сейчас найдется кто-либо способный верить в то, что государства основываются героями вроде римских Ромула и Рема, английских Гангиста и Горзы, польских Попеля и Пяста, русских Рюрика, Синеуса и Трувора и т. д. Государство есть продукт, рождающийся в самом обществе на той ступени его развития, когда возникшие классы

сталкиваются в своих непримиримых противоположностях, когда наиболее сильный экономически класс берет в руки власть и держит в своем подчинении и в своих интересах народную массу.

Государство появляется, как выражается Энгельс, «незаметно», без трубных звуков и громких слов, подобных тем, какие отмечались летописцами о начале государств английского и русского: «Terram latam et spatiosam et omnium rerum copia refertam vestrae mandant ditioni parere» (Видукинд) и «Земля наша велика и обильна... да поидете княжить и володети нами» («Повесть временных лет»).

Следовательно, чтобы решить вопрос о происхождении государства, не надо искать героев — их основателей, а нужно внимательно следить за развитием самого общества.

Факты, приведенные выше, говорят нам о том, что задолго до IX века, т. е. до пресловутого призвания варягов, русский народ интенсивно развивался; он уже с VI века выступает в качестве силы, участвующей в решении мировых проблем уничтожения рабовладельческого мира и создания новых государств, основывающихся на иных, более прогрессивных общественных отношениях.

Морган, автор книги «Древнее общество», и Энгельс установили подтверждающееся и фактами русской истории положение, что государству предшествует период «военной демократии»: военной — потому, что она существует для целей войны, демократии — потому, что тут еще нет классов, что перед нами организованный по-военному и вооруженный народ, который все свои важные дела решает на своих народных собраниях. Здесь нет еще власти, отделившейся от народа и тем более ему противополагаемой.

Такой период военной демократии мы можем наблюдать у славян во время их организованной борьбы с Римской державой. У славян был военный строй, основанный на десятичной системе, были видные вожди. Много имен их сохранили нам византийские источники, некоторые из них запечатлелись в народной памяти и стали героями поэтических устных и письменных произведений. Вождь антов Бож, или Бус (IV в. н. э.), упоминаемый Иорданом, нашел себе место и в «Слове о полку Игореве» («время Бусово»).

Период «военной демократии» — это переходный период к государству. И первые признаки государственной организации у славян не

замедлили появиться, после того как пала мировая рабовладельческая Римская держава.

Если приведенные нами примеры мы признáем за серьезные аргументы, в корне подрывающие старое представление об образовании варягами Русского государства в середине IX века, то возникнет естественный вопрос о том, сохранились ли в письменности хотя бы отголоски событий, свидетельствующие о наличии первых признаков государственности у восточных славян до IX века.

На этот вопрос мы можем ответить вполне утвердительно. Такие свидетельства у нас есть. Они имеются в арабских, а отчасти и в русских источниках. Но почему именно в арабских? Потому же, почему первые известия, например, о германцах, мы черпаем не у германцев, а у римлян. Русь в VI—VII веках не имела своей письменности. У нее не было еще своего Нестора, а более просвещенные арабы в это время уже очень интересовались нашей страной, поскольку им важно было иметь о ней специальные сведения — о путях, расстояниях между городами, об отношении славян к иноземцам, о товарах и т. п.

У арабского географа и историка Масуди, родившегося в конце IX века, в его произведении «Золотые луга» находим недатированное известие о том, что некогда одно из славянских племен, коренное между ними, господствовало над прочими, что во главе этого объединения стоял князь и ему повиновались все прочие князья. Вследствие внутренних раздоров этот союз распался, и каждая из его частей выбрала себе отдельных владык. Это господствующее племя Масуди называет волынянами. Масуди рассказывает об этом без всякой тенденции. Сообщение его мы могли бы считать правдоподобным. Но, к счастью для нас, мы имеем основание признать его достоверным.

Дело в том, что в «Повести временных лет» имеется упоминание об этом же факте, с некоторыми деталями, позволяющими датировать сообщение Масуди:

«В си же времена быша и Обри [авары], иже ходиша на Ираклия царя [610—641] и мало его не яша. Си же Обри воеваху на Словенах и примучиша Дулебы, сущая Словены, и насилие творяху женам дулебским. Быша бо Обре телом велицы и умом горды, и Бог потреби я, и помроша вси, и не остася ни един обрин. И есть притча на Руси и до сего дне «погибоша, аки Обре», их же несть племени ни наследка».

Дулебы «Повести временных лет» — это те же волыняне: «Дулебы живут по Бугу, где ныне Велыняне» («Повесть временных лет»).

В. О. Ключевский уже давно обратил внимание на связь этих сообщений — летописного и Масуди — и сделал вывод: «Мы застаем у восточных славян на Карпатах в VI веке большой военный союз под предводительством князя дулебов... Этот военный союз и есть факт, который можно поставить в самом начале нашей истории: она... началась в VI веке на самом краю, в юго-западном углу нашей равнины, на северо-восточных склонах и предгорьях Карпат».

Этот вывод А. А. Шахматов подкрепил филологическими соображениями: «Звуковые черты, объединяющие русский язык во всем его составе, могут свидетельствовать о тесном единении населения в пределах этой прародины. Трудно сомневаться в том, что жизнь его сосредоточивалась вокруг какого-нибудь племенного центра, ставшего основанием и для политической организации... Всего вероятнее, что таким центром была Волынь, Волынская область».

Была попытка опорочить это известие и отнести упоминаемых в обоих сообщениях дулебов к чехам, у которых действительно есть два или три селения под названием Дудлеби. Против этих попыток (Вестберга и Преснякова) выступил Шахматов. Он указал, что летописец совершенно ясно говорит именно о дулебах русских, определяя территорию, ими занятую, рекою Бугом («Дулеби живяху по Бугу, где ныне Велыняне»), и что летописец ссылается на пословицу, созданную именно на Руси («И есть притча на Руси и до сего дне: погибоша аки Обре»).

Мы должны обратить также самое серьезное внимание и на топонимику Прикарпатья, где попадаются десятки названий, производных от слова «дулеб» [3]. Перемена названий: дулебы — волыняне — бужане, позднее — Червенские города, говорит об интенсивной жизни края, о появлении здесь значительных городов (Велынь, Червень), способных стать центрами целых областей и сообщить им новое (уже не племенное) наименование.

Все это вместе взятое позволяет нам с уверенностью говорить о правдивости сообщения, попавшего к Масуди и к автору «Повести временных лет».

Итак, в конце VI и начале VII века до наступления аваров существовало большое политическое объединение восточного славянства. Греки

называли его Великой Скифией. О том, как называло себя само это объединение, у нас, к сожалению, сведений нет. Нет ничего невероятного, что уже тогда этот народ называл себя русью. В нашем распоряжении имеются факты, говорящие о том, что термин «рос», или «рус», был хорошо и очень давно (конечно, до всяких варягов) известен в нашей стране (река Рось — приток Днепра; Волга называлась тоже Рос; Оскол — Рось; Роска на Волыни и др.). Византийский писатель VI века Захарий (псевдо-Захарий) знает народ рос и пишет о нем следующее: «Народ, им [амазонкам] соседний, есть рос — люди, наделенные огромным телом... Кони не могут носить их вследствие их тяжести» (вероятно, так объяснял Захарий непривычку руси к конному строю и предпочтение ему в то время строя пехотного). Патриарх константинопольский Фотий (середина IX века) называет народ нашей страны то русью, то скифами. Лев Диакон, историк походов Святослава на Болгарию, называет войско Святослава скифами, но прибавляет, что оно само себя называет русью.

Из других сообщений арабов IX—X веков (Аль-Джайхани, Аль-Истахри, Ибн-Хаукаль, Аль-Балхи) мы узнаем о дальнейшей судьбе распавшегося под ударами аваров Волынского союза. Эти арабы единодушно говорят о наличии у восточных славян трех государств: Куявии, Славии и Артании. Куявия — это, несомненно, Киевская земля (Киев, очевидно, стал в это время уже мощным центром, объединившим ряд племен и значительную территорию). Славия — это Новгородская земля, поскольку новгородские славяне называли себя словенами. О местоположении Артании существует несколько предположений. Наиболее приемлемым я считаю приурочение Артании к Кубани и Таманскому полуострову: река Кубань называлась в древности Артан; кроме того, арабы сообщают, что Артания находится по соседству с Хозарией и Византией.

Во главе этих частей Руси, по арабским сообщениям, стоят князья. Каждая из них имеет свои особенности, весьма интересовавшие арабов.

Наш первый историк, автор «Повести временных лет», кое-что, конечно, знал о далеком прошлом своей земли. Он ведь сообщил о дулебах и аварах (VI век), он говорил об отношениях Руси с хозарами в дорюриковскую пору. Но в общем его сообщения об этом периоде истории Руси очень скудны. Справедливость требует, однако, подчеркнуть, что он, имея перед собой задачу изобразить историю Руси под властью Рюриковичей (один из которых поручил киево-печерскому монаху написать эту

историю), выполнил ее осторожно, предоставив последующим историкам возможность дополнять его труд.

Под 859 годом, первым годом, где сообщаются конкретные факты из жизни Руси, указывается ситуация, получившаяся в итоге предшествующих сложных событий, оставленных автором без объяснений.

Автор и о Рюрике с его братьями знает очень мало, но считает необходимым передать о них старинную легенду, без которой ему трудно было говорить о его современниках, князьях, считавших себя потомками Рюрика. Так поступать с вопросами родословий сделалось своего рода обычаем. Английских семейств, старающихся произвести себя от Вильгельма Завоевателя, не меньше, чем русских дворян, связывавших свое происхождение то с Рюриком, то с Гедимином или с менее знатными людьми (Романовы, Шереметевы, Вельяминовы-Воронцовы, Годуновы-Сабуровы и др.). Прибегнув к какому-то преданию, окутывавшему имя Рюрика и его братьев, наш летописец оказался очень правдив в смысле изложения хода истории Руси. Если он не заполнял периода до 859 года никакими сообщениями, то ясно показал, что не с этого года начинается политическая жизнь Руси.

«Степенная книга», одна из самых замечательных попыток XVI века обобщить историю Руси, составленная на основе летописей, хронографов и житий святых, — источников, до нашего времени полностью не сохранившихся, отмечает: «И прежде Рюрикова пришествия в Славянскую землю не худа бяше держава Словенского языка».

Ознакомившись с показаниями русских источников о начале Русского государства, Маркс тоже вынес впечатление, что не с Рюрика начинается Русское государство. В «Хронологических выписках» Маркс пишет: «... возникли сначала д в а г о с у д а р с т в а: Киев и Новгород. Олег, подчинив также второе р у с с к о е г о с у д а р с т в о Киев, переносит туда местопребывание правительства» (подчеркнуто Марксом).

Дальше мы можем уже следовать за показаниями нашего летописца, правдивость которого многократно отмечалась в русской и зарубежной литературе.

Итак, совершенно очевидно, что историю Русского государства ни в коем случае нельзя начинать от пресловутого «призвания варягов», что современная наука решительно отказывается связывать происхожде-

ние государства с именами каких бы то ни было героев. Единственно надежный путь к разрешению этой важной проблемы для всех народов — изучение эволюции общественных отношений и учет общей исторической обстановки, в которой живет данный народ.

Русское государство, как и другие средневековые государства, возникло на переломе двух великих эпох цивилизации, на рубеже двух миров: одного — одряхлевшего рабовладельческого и другого — молодого, несущего новые, более прогрессивные формы общественных отношений. Оно вместе с другими раннесредневековыми государствами вписало в историю Европы новую страницу. Участвуя в разрушении рабовладельческого строя в Европе, оно создало у себя тот же феодальный строй, какой характеризует все европейские средневековые государства.

Значение Русского государства в истории Европы очень велико. Маркс это отметил с большой ясностью и силой. Он назвал только два европейских государства, сыгравших огромную роль в политических судьбах Европы, — это империя Карла Великого и империя Рюриковичей: «Подобно тому как империя Карла Великого предшествовала образованию современных Франции, Германии и Италии, так и империя Рюриковичей предшествовала образованию Польши, Литвы, Прибалтики... и, наконец, самой Московии».

Только при таком понимании развития восточнославянского общества, приведшего к образованию государства приблизительно в VII веке (более точной даты дать нельзя), становятся понятными и известная высота культуры Киевского государства, и его большая роль в международной жизни Европы X—XII веков.

Старое представление о том, что государственность на Руси создана в IX веке призванными братьями-варягами, в современной постановке вопроса кажется наивным, не выдерживающим никакой критики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Д. Иловайский.* Разыскания о начале Руси, стр. 189.
2. *П. Н. Третьяков.* К истории племен Верхнего Поволжья в первом тысячелетий н. э. 1941.
3. *И. П. Филевич.* История древней Руси, т. I, 1896.
4. *N.K. Chadwick.* Beginnings of Russian History, an Enquiry into sources. Cambridge, 1946.
5. *Schlötzer.* Probe Russischer Annalen, S. 47.
6. *Stender-Petersen.* Die Varägersage als Quelle der Altrussischen Chronik. 1934.

Член-корреспондент АН СССР
С. В. Бахрушин

ИВАН ГРОЗНЫЙ В СВЕТЕ НОВЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из важных вопросов истории русского народа, коренным образом пересмотренных советской историографией, является вопрос об Иване Грозном.

Иван Грозный уже современникам казался личностью загадочной и страшной. «Превысочайшим во-истину и преславнейшим всех бывших, славимым от концов небес до концов их», подобным «Макидону», «инорогом в бранех» величает его своим вычурным языком дьяк Иван Тимофеев и тут же с недоумением прибавляет, что он «от умышления зельной ярости толико подвигся на рабов своих, что возненавидел грады земли своей... и всю землю державы своей, как секирою, на-полы некако рассек» [1]. Такой же загадкой вошел Иван IV и в историческую науку. Для большинства дореволюционных историков это была психологическая проблема; интересовали самая личность Грозного и условия, в которых она создалась; дебатировался даже вопрос с психиатрической точки зрения — был ли Грозный нормален умственно. Даже виднейший из дореволюционных историков конца XIX — начала XX века В. О. Ключевский отказывался видеть в деятельности Ивана IV какой-либо «государственный смысл». Впрочем, уже в трудах Соловьева и Платонова были сделаны попытки подойти иначе к вопросу. Оба они расценивали деятельность Ивана IV как момент решительной схватки «государственного начала», воплощенного этим грозным

государем, с удельной стариной; особенно в этом отношении интересен пересмотр представлений об опричнине, проделанный Платоновым. Но сугубо идеалистическое понимание государства, как надклассового явления, у Соловьева и отсутствие общей законченной концепции у Платонова лишали выводы их глубокой научной базы. Павлов-Сильванский, первый из буржуазных историков решившийся громко сказать о закономерности исторического процесса у всех народов и создавший новую периодизацию русской истории, в основе которой лежала господствовавшая в западноевропейской исторической науке концепция, усмотрел в эпохе Грозного переходный момент от феодализма к сословной монархии. Для своего времени это историческое утверждение Павлова-Сильванского представляло большой шаг вперед, но концепция его, основанная на неверной трактовке феодализма как юридического понятия, а не социально-экономической формации, не научна. Выводы Павлова-Сильванского, между тем, легли в основу взглядов Рожкова и М. Н. Покровского об эпохе Ивана IV, которые еще более осложнили вопрос, связав «падение феодализма» в XVI веке с антимарксистским учением о смене феодального периода периодом так называемого «торгового капитализма».

Если русская буржуазная историография и после нее «школа Покровского» не сумели понять и научно разъяснить значение Ивана Грозного в ходе русского исторического процесса, то западноевропейская историческая наука была в этом отношении совершенно бессильна. В лучшем случае представители ее, как Леруа-Болье или Валишевский, повторяли выводы Соловьева, Ключевского или Платонова, в худшем — давали романтический образ кровожадного злодея на престоле, как в недавно вышедших популярных книгах Ст. Грэхэма [2].

Пересмотр вопроса об Иване Грозном на базе научного марксистского метода был произведен уже советскими историками. Этому способствовало и появление в советской печати новых, отчасти совсем неизвестных, отчасти до сих пор известных лишь из вторых рук или в отрывках источников по эпохе Грозного. На первом месте стоят записки опричника, немца по происхождению, Генриха Штадена, вышедшие у нас на русском языке, в переводе И. И. Полосина, еще до того как они были напечатаны в Германии [3]; почти одновременно напечатан был впервые полный русский перевод записок Таубе и Крузе [4]. К числу иностранных сказаний об эпохе Грозного относится также сказание Альберта Шлихтинга, тоже

впервые изданное (в переводе А. Малеина) [5]. Не менее важны напечатанные П. А. Садиковым переписка Ивана Грозного с опричником Василием Грязным [6] и собрание актов времен опричнины [7]. Все эти публикации позволили совершенно заново осветить темные вопросы, связанные с реформой Ивана IV.

Вопрос о необходимости коренного пересмотра оценки Ивана Грозного в нашей литературе был поднят Р. Ю. Виппером в его блестящей книге, вышедшей в 1922 г. [8].

Взяв на себя задачу исторической реабилитации Ивана Грозного, Р. Ю. Виппер, со свойственным ему талантом, показал его как выдающегося государственного деятеля, дипломата и стратега, вполне выдерживающего сравнение с такими крупными историческими деятелями, как Петр Великий. Сила аргументации автора заключается в том, что как специалист по всеобщей истории он ставит Ивана IV в окружение государственных деятелей современной ему Западной Европы, и на международном фоне московский самодержец вырастает в мощную, величественную фигуру.

Недостаточно было порвать со старым представлением об Иване Грозном как о полоумном тиране, действовавшем без всякого государственного смысла. Надо было создать цельную научную концепцию эпохи, в которую действовал этот царь, чтобы объективно определить то место, которое ему принадлежит в ходе исторического развития.

Попытка дать такую концепцию сделана была в 1-м томе учебника истории СССР для высших учебных заведений, вышедшем в 1939 г.,[1] и в дальнейшем развита в научно-популярных работах С. В. Бахрушина [9] и И. И. Смирнова [10].

Время царствования Ивана Грозного рассматривается в учебнике как решающий момент в истории образования централизованного феодального государства в России и начало постепенного превращения его в государство многонациональное.

Этот момент был подготовлен ростом производительных сил. До тех пор пока не была преодолена, хотя бы частично, экономическая раздробленность страны, невозможна была централизация государственной

[1] Раздел В, гр. III. Начало превращения Русского государства в многонациональное (автор — С. В. Бахрушин).

власти. В. И. Ленин показал, что фактическое слияние всех областей, земель и княжеств в одно целое, происшедшее в России в период «примерно с 17 века», «... вызывалось усиливающимся обменом между областями, постепенно растущим товарным обращением, концентрированием небольших местных рынков в один всероссийский рынок» [11]. Естественно, что этот основной вопрос привлек особенно острое внимание советских исследователей.[1] «Всероссийский рынок» сложился не сразу, и очевидно, что без выявления рыночных связей между отдельными частями страны не могли быть поняты успехи централизации при Иване Грозном. Для разрешения поставленной проблемы были привлечены новые, до сих пор совершенно не использованные материалы — приходо-расходные книги монастырей XVI века, из которых только несколько напечатано, а большинство (Иосифо-Волоколамского монастыря, вологодского Прилуцкого, московского Чудовского, Никольского Корельского и др.) остается неизданным. Даже предварительное изучение этого источника показало значительно большее развитие товарно-денежных отношений в феодальном хозяйстве XVI века, чем предполагалось. Города XVI века уже представляли собой крупные центры ремесленного производства, питавшиеся покупным хлебом. Уже намечались, с одной стороны, потребляющие районы, с другой — районы, производящие продукты сельского хозяйства и сырье, а также специализировавшиеся в определенном виде ремесленного производства. Это обстоятельство способствовало развитию постоянных торговых сношений между районами, подготовлявшему образование всероссийского рынка. Постепенно втягивались в товарно-денежные отношения даже крупные феодальные вотчины, как это показал М. Н. Тихомиров на примере Иосифо-Волоколамского монастыря [12]. В оживленном товарообмене, как теперь выясняется, внешняя торговля, которой раньше придавалось основное значение в русской экономике XVI—XVII веков, играла второстепенную роль. Связи между местными русскими рынками в XVI веке уже были настолько оживлены, что говорить об «экономической раздробленности» не приходится.

---

[1] Над вопросом о предпосылках «Всероссийского рынка» работает сейчас С. В. Бахрушин, который опубликовал свои предварительные выводы в статье, напечатанной в «Ученых записках Московского университета», вып. 87, М., 1946. Вопрос о внутреннем рынке рассматривается также в книге Б. Д. Грекова «Крестьяне на Руси», стр. 552—570.

Но пристальное изучение источников вскрыло и те непреодолимые в то время препятствия, которые встречало развитие товарно-денежных отношений в России в XVI веке. Товарность феодального хозяйства еще была очень слабой. Феодальные иммунитеты и создаваемые ими перегородки были в полной силе. Мануфактурного производства, процветавшего в то время в Западной Европе, в Восточной еще не было и в зародыше. Говоря словами И. В. Сталина, «капиталистического развития еще не было, оно, может быть, только зарождалось» [13, стр. 73].

Но если развитие производительных сил в Восточной Европе шло медленнее, чем в Западной, то было одно обстоятельство, которое ускоряло на востоке Европы процесс образования централизованного государства. «На востоке Европы..., — говорит товарищ Сталин, — образование централизованных государств, ускоренное потребностями самообороны (нашествие турок, монголов и пр.), произошло раньше ликвидации феодализма, стало быть, раньше образования нации» [13, стр. 65]. Следствием этого явления было образование в Восточной Европе, в частности в России, «смешанных многонациональных буржуазных государств».

Проблема образования многонационального государства в советской историографии разработана еще слабо. Вопросы, связанные с обороной страны при Иване Грозном и с его внешней политикой, до сих пор не подвергались монографическому исследованию. В своем общем очерке об Иване Грозном И. И. Смирнов в немногих тонких штрихах отметил значение для судеб русского народа завоевания Казанского ханства: «Казань, — говорит он, — в первой половине XVI века являлась своеобразным фокусом, в котором концентрировались враждебные Русскому государству силы... Реакционная роль Казанского ханства проявлялась в двояком отношении. Во-первых, наличие враждебных России и агрессивных татарских государств в Восточной Европе содержало в себе угрозу возможности восстановления в той или иной форме татарского ига... Помимо этого непосредственного значения Казани как враждебной России силы, реакционная роль Казанского ханства заключалась в том, что оно сковало силы Русского государства и не давало ему возможности вести активную борьбу с врагами на западе» [10, стр. 67—68]. Эти интересные мысли требуют, однако, дальнейшего раскрытия и уточнения и скорее указывают на направление, в котором должны итти дальнейшие изыскания, чем говорят об определенных выводах.

87*

Еще не закончено и изучение Ливонской войны, которое проводит Г. А. Новицкий, но уже сейчас выяснены некоторые стороны этого вопроса. В книге Р. Ю. Виппера, в статьях И. И. Полосина очень выпукло показано международное значение Ливонской войны, грандиозный характер которой со всей силой развертывается на широком фоне политических отношений Западной Европы. С другой стороны, показаны реальные условия, толкавшие Ивана Грозного к борьбе за Балтийское побережье в целях прорыва блокады враждебных государств, мешавшей нормальному развитию производительных сил в русских землях.

Наконец, поставлен вопрос и о поддержке, которую выступление Ивана Грозного встретило со стороны местного эстонского и латышского населения, угнетенного немецкими светскими и духовными феодалами. Эта сторона дела тем важнее, что она приближает нас к разрешению проблемы об условиях образования многонационального государства, которая до сих пор остается почти не затронутой советской историографией.

Таким образом, проблема превращения Русского государства, созданного Иваном III, в государство централизованное при его внуке, в основном поставлена советскими учеными. В свете этой проблемы получила новое освещение и вся деятельность Ивана Грозного. На его долю выпало уничтожить остатки феодальной раздробленности в условиях ожесточенной борьбы с крупными феодалами — боярами, упорно отстаивавшими старые удельные вольности. Его роль в истории России такая же, как роль Людовика XI во Франции, Генриха VIII в Англии и других западноевропейских государей, боровшихся за создание сильной государственной власти.

В малолетство Ивана IV господство крупной земельной аристократии ознаменовалось ожесточенной борьбой между отдельными феодальными семьями, принимавшей временами характер феодальной войны, частичным возвращением к порядкам феодальной раздробленности, расхватом государственных земельных фондов, земель и крестьян частных владельцев «сильными людьми», расширением числа боярских вассалов и холопов, разграблением великокняжеской казны и развалом дела обороны страны. Феодальная реакция вызвала бурное антифеодальное движение в городах и волостях, выразившееся в 1547 г. в выступлениях «мужичья» против кормленщиков и их слуг и в мощном восстании в самой Москве. Московское восстание 1547 г. заставило феодальные верхи объединиться

для укрепления расшатанной государственной власти и послужило толчком для ряда мероприятий в этом направлении.

Приблизительно с 1549 по 1560 г. проведены были широкие реформы в области государственного и церковного управления, суда, финансов, военной службы и организации армии. Все они имели целью усиление государственной централизации и укрепление власти, всецело отвечая интересам наиболее многочисленной группы феодалов — мелкого и среднего дворянства. Так называемые «реформы 1550-х годов» не только оформили складывавшиеся в течение целого века политические и социальные порядки в полном соответствии с интересами и притязаниями основной массы феодалов-дворян, но и дали определенное направление дальнейшему развитию русской государственности. На основе реформ 1550-х годов строилось Московское государство в XVII веке и подготовлялся путь к преобразованиям Петра Великого. В это же десятилетие наметились и основные задачи национальной внешней политики Русского государства, которые определили ее направление до начала XVIII века.

Реформам 1550-х годов за последнее время было посвящено несколько ценных работ, выявивших новые и существенные детали: таковы статьи П. А. Садикова [14], С. Б. Веселовского [14а] и И. И. Смирнова [15].

Изучение реформ 1550-х годов привело к пересмотру деятельности так называемой «избранной рады», как принято называть круг лиц, управлявших в эти годы совместно с Иваном Грозным. Дореволюционная историография видела в них поборников старых боярских притязаний. Вопрос об «избранной раде» в целом подвергся пересмотру в специальной статье С. В. Бахрушина [16]. Автор приходит к заключению, что программа «избранной рады» была чисто дворянской, а отнюдь не боярской; к тому же выводу приходит и И. И. Смирнов [10, стр. 31—32].

В ходе кипучего государственного строительства обострились внутриклассовые противоречия в среде феодалов, и это особенно сказалось в условиях тяжелой войны за Прибалтику, требовавшей напряжения всех экономических и политических сил государства. Борьба внутри господствующего класса привела к падению «избранной рады» и к резкой постановке вопроса о пределах самодержавной власти царя.

Боярство настаивало на традиционной обязанности царя не только советоваться с крупнейшими вассалами и допускать с их стороны «встречу», но и повиноваться «синклитскому совету». Между тем, трудная и

затяжная война требовала концентрации всей власти в руках царя. Это отлично понимал Грозный, который писал Курбскому: «Аще убо царю не повинуются подвластные, никогда же от междуусобных браней престанут», а «кто же может бранная нести, аще растянется междуусобия браньми царство?» [17, стр. 162 и 169]. Царя поддерживало рядовое дворянство, которое видело в самодержавии источник своего материального благополучия. Еще в 1540-х годах устами своего идеолога Ивашки Пересветова оно призывало царя к применению «грозы» по отношению к непокорным и ленивым «богатинам» — боярам. Потребность новых, более радикальных реформ особенно сильно дала себя чувствовать в 1563—1564 гг., когда положение на ливонско-литовском фронте и на южной крымской границе крайне осложнилось, а внутри страны бояре перешли от оппозиции к заговорам и актам измен.

Обстановка, в которой зародилась у Ивана IV идея опричнины, превосходно выяснена безвременно скончавшимся П. А. Садиковым [18][1]. Порывая с традицией, долгое время тяготевшей над русской историографией, которая видела в опричнине только проявление царского произвола и в лучшем случае орудие политического сыска, Садиков трактует ее как крупное учреждение, преследовавшее определенные государственные задачи с хорошо организованным и сложным аппаратом. Вопрос об организации правительственных органов опричнины очень углубленно и по-новому рассмотрен в специальных его статьях [19]. Из этих исследований выясняется, в частности, финансовое значение опричнины как органа по мобилизации государственных средств для войны. Так же внимательно изучена П. А. Садиковым и земельная реформа, связанная с опричниной [18]. Его исследования, к которым примыкает и статья С. Б. Веселовского о монастырском землевладении во второй половине XVI века [20], не только подтвердили априорные соображения С. Ф. Платонова, но и конкретно, во всех подробностях, выявили вызванную опричниной мобилизацию земли, ее классовую направленность и реакцию в этом вопросе после 1571 г. Таким образом, в работах советских ученых мысль о значении опричнины как средства экономического ослабления крупной знати получила большое развитие.

[1] В настоящее время подготовлено к печати посмертное издание большой работы П. А. Садикова, посвященное опричнине.

Историки-марксисты не могли не поставить вопроса о классовом характере опричнины. Ответ в основном дается довольно точный. Острие опричнины было направлено против боярства, титулованного и нетитулованного, цеплявшегося за свои удельные привилегии и мешавшего строительству централизованного государства.

Естественно, что опричнина вызывала ожесточенное сопротивление со стороны той части феодалов, против которой она была призвана действовать. П. А. Садиков в названной статье и Р. Ю. Виппер во 2-м издании своей книги [8] вскрыли ряд заговоров, которые возникали в среде недовольных и представляли серьезную опасность не только лично для Ивана Грозного, но и для целости государства, и объясняют смысл и характер вызванных ими репрессий со стороны царя. Очень тщательное изучение состава опальных царя Ивана, проделанное С. Б. Веселовским [20], показало широкий круг лиц, представлявшихся опасными для государственного строительства. Среди них были представители не только светской и духовной знати, но и тех социальных групп, на которые знать опиралась в борьбе с самодержавием, — ее вассалы и клиенты. Так, с большой яркостью вырисовываются размеры той оппозиции, сокрушение которой являлось задачей опричнины.

В своей антибоярской политике Иван IV опирался на среднее и мелкое дворянство, которое составляло основную массу опричников и было заинтересовано в разгроме боярского землевладения и в усилении царской власти, — на тех «страдников» (конечно, по сравнению с «княжатами, влекомыми от рода великого Владимира»), которых Иван, по его собственному выражению, стал приближать, ожидая от них «службы и правды», когда бояре «учали [ему] ... изменять». Очень любопытные попытки были сделаны П. А. Садиковым [6] и молодым советским ученым, павшим в геройской борьбе с фашистами, Г. Н. Бибиковым [22] — определить точный социальный состав опричников, но недостаток материалов не дал пока возможности сделать исчерпывающие выводы.

Опричным режимом рядовая масса средних и мелких феодалов широко воспользовалась для расхвата конфискованных боярских земель и для дальнейшего закабаления крестьянства. Усиление крепостнического гнета в эпоху опричнины хорошо показал И. И. Смирнов [23], хотя общие выводы, которые он делает из своих интересных наблюдений, в основном неприемлемы.

Была еще одна социальная группа, которая сочувствовала реформам Грозного. Это был посад, который страдал от произвола «сильных людей», от ограничений, налагаемых на торговлю феодальными перегородками, и от отсутствия безопасности в стране, раздираемой феодальными усобицами [8, 2-е изд., стр. 64—66; 12, стр. 95; 24].

В конечном итоге, советские ученые пришли к выводу, что опричнина, несмотря на ряд темных сторон, достигла больших и положительных результатов в деле государственной централизации. Опричнина была, несомненно, прогрессивным явлением, поскольку она помогла ликвидировать остатки феодальной раздробленности и расчистила путь к созданию в будущем абсолютистского государства, которое в данных исторических условиях было необходимо для развития экономической и политической мощи русского народа.[1]

В дореволюционной литературе последний период жизни Ивана IV всегда рассматривался как годы упадка и полной неудачи всей его политики. В какой-то мере эта традиционная точка зрения оказала влияние даже на выводы Р. Ю. Виппера, который характеризует предсмертные годы своего героя как «общенародную социально-политическую катастрофу» [8, 2-е изд., стр. 170]. Вряд ли такой взгляд правилен.

Безвременно скончавшийся талантливый ленинградский историк Н. С. Чаев [26] доказал, что 1580-е годы были периодом большого творческого подъема и начала новых реформ, которые по смелости и широте могут соперничать с реформами 1550-х годов. Почти 25-летняя война, потребовавшая неимоверного напряжения всех сил государства, несомненно привела к сильному разорению страны. Реформы 1580-х годов и имели целью восстановить государственные финансы и содействовать преодолению дворянскими хозяйствами постигшего страну кризиса. Намечен был ряд радикальных мероприятий. В первую очередь была наложена рука на монастырское землевладение, пощаженное опрични-

[1] Особняком стоит статья С. Б. Веселовского «Учреждение Опричного двора Ивана Грозного в 1565 г. и отмена его в 1572 г.» [25]. Автор, полемизируя с концепцией С. Ф. Платонова об опричнине, вносит ряд ценных фактических поправок в его изложение, но не дает собственной концепции и поэтому, незаметно для себя, делает шаг назад, на позиции В. О. Ключевского, которые в настоящее время уже не могут удовлетворить читателя.

ной; отписана часть церковных земель; отменены тарханы (т. е. иммунитеты, пожалованные церковным учреждениям); для прекращения утечки плательщиков государственных налогов и рабочих рук из дворянских поместий введены «заповедные годы», временно запретившие крестьянский переход; приняты меры против закладничества; наконец, начата была общегосударственная перепись.

Иван Грозный не успел завершить всего плана задуманных им реформ; он умер в самый разгар их проведения, но они с успехом продолжались его преемниками. Все крупнейшие мероприятия Бориса Годунова, проводимые им сначала в качестве правителя государства, а потом царя, были продолжением преобразований, начатых Грозным незадолго до смерти. Экономический подъем и восстановление военной мощи Московского государства при царях Федоре и Борисе, одинаково отмечаемые и современниками и исследователями, позволили уже через несколько лет после того, как со сцены сошел Иван IV, возобновить борьбу за Прибалтику.

Результаты государственного строительства, проведенного Иваном Грозным, сказались с полной силой через 30 лет после его смерти, когда окрепшее, спаянное в одно целое Русское государство не только с успехом отразило нависавшую на него со всех сторон иностранную интервенцию, но и быстро пошло по пути дальнейшего развития.

Несмотря на всю крутость преобразований, совершенных Иваном IV, несмотря на все опалы и казни, созданное им государство далеко еще не было абсолютной монархией в полном смысле этого слова. Начатое им строительство абсолютизма было завершено лишь спустя столетие Петром Великим. Но реформы Грозного расчистили путь к преобразованиям Петра и к созданию абсолютистского государства. Страстный, увлекающийся, Иван Грозный упорно шел к намеченной цели: ломая на своем пути все преграды, беспощадно расправляясь со всеми противодействовавшими ему, он создал политическую силу, которая позволила русскому народу преодолеть грозившую ему извне опасность и выйти на широкое историческое поприще.

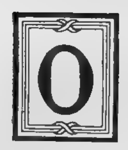
Так, в свете новых изысканий Иван Грозный вырастает в величественную и мощную фигуру одного из крупнейших государственных деятелей русского прошлого.

ЛИТЕРАТУРА

1. РИБ, т. VIII, изд. 1-е, стр. 269, 271.
2. *St. Graham.* Ivan the Terrible. *Он же.* Boris Godunof. London, 1933.
3. *Генрих Штаден.* О Москве Ивана Грозного. Записки немца-опричника. Перевод и вступительная статья И. И. Полосина «Записи прошлого...» под ред. С. В. Бахрушина и М. А. Цявловского. М., 1925.
4. *М. Г. Рогинский.* Послание Иоганна Таубе и Элерта Крузе. Русск. истор. журн., кн. VIII, Пгр., 1922.
5. «Новое известие о России Ивана Грозного». Сказание Альберта Шлихтинга, перев., ред. и примеч. А. И. Малеина, Л., 1934.
6. *П. А. Садиков.* Царь и опричник. Сб. «Века», Пгр., 1924.
7. Сборник «Исторический архив», т. III, 1940.
8. *Р. Ю. Виппер.* Иван Грозный, М., 1923; изд. 2-е — Ташкент, 1942, изд. 3-е — М., 1944.
9. *С. В. Бахрушин.* Иван Грозный. М., 1942; изд. 2-е — М., 1945.
10. *И. И. Смирнов.* Иван Грозный. Л., 1944.
11. *В. И. Ленин.* Соч., т. I, изд. 4-е, стр. 137.
12. *М. Н. Тихомиров.* Монастырь-вотчинник XVI века. Истор. зап., 1933, вып. 3.
13. *И. В. Сталин.* Марксизм и национально-колониальный вопрос. М., 1935.
14. *П. А. Садиков.* «Кормленые дьяки» и вопрос о происхождении приказных четей в Московском государстве XVI века. Сборник статей по русской истории, посвященных С. Ф. Платонову. Пгр., 1922.
14а *С. Б. Веселовский.* Первый опыт преобразования центральной власти при Иване Грозном. Истор. зап., вып. 15, М., 1945.
15. *И. И. Смирнов.* К вопросу о мерах в Московском государстве XVI века. Уч. зап. Ленингр. ун-та, № 48.
16. *С. В. Бахрушин.* «Избранная рада» царя Ивана Грозного. Истор. зап., № 15, М., 1945.
17. Сказания кн. Курбского, изд. Н. Устрялова. СПб., 1868.
18. *П. А. Садиков.* Из истории опричнины. Сб. «Исторический архив», т. III, 1940.
19. *П. А. Садиков.* Из истории опричнины Ивана Грозного. Дела и дни, вып. 2, 1921. *Его же.* Московские приказы — «Четверти» во времена опричнины. Истор. зап., № 10, М., 1941.
20. *С. Б. Веселовский.* Монастырское землевладение в Московской Руси во второй половине XVI века. Истор. зап., № 10, М., 1941.
21. *С. Б. Веселовский.* Синодик опальных царя Ивана как исторический источник. Сб. «Пробл. источниковедения», т. III, М.— Л., 1940, стр. 245—366.
22. *Г. Н. Бибиков.* К вопросу о социальном составе опричников Ивана Грозного. Тр. Гос. Истор. музея., вып. 14, М., 1941.
23. *И. И. Смирнов.* Классовые проблемы в феодальной деревне России в конце XVI века. Пробл. истории матер. культуры, 1933, № 5—6.
24. Учебник истории СССР для вузов, т. 1, 1939, стр. 380—381.
25. *С. Б. Веселовский.* Учреждение опричного двора Ивана Грозного в 1565 г. и отмена его в 1572 г. Вопр. истории, 1946, № 1.
26. *Н. С. Чаев.* К вопросу о сыске и преследовании крестьян в Московском государстве в XVI веке. Истор. зап., вып. 6, М., 1940.

Академик
Е. В. Тарле

ОБ ИЗУЧЕНИИ ВНЕШНЕПОЛИТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ РОССИИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РУССКОЙ ДИПЛОМАТИИ В XVIII—XX ВЕКАХ


дним из значительных достижений советской исторической науки — с политической точки зрения — я считаю рост интереса советских историков к вопросам внешнеполитическим. Именно этой категории исторических проблем было посвящено большинство моих работ за тридцать лет советской власти. Важность изучения истории международных отношений я за последние годы неустанно пропагандировал. Это и побуждает меня в сборнике, посвященном тридцатилетию Великой Октябрьской социалистической революции, остановиться исключительно на этой группе моих исследований.

Мне давно казалось, еще в первые годы после окончания университета (и я многократно говорил об этом и с кафедры, и в печати), что у нас историческая наука в общем крайне мало и, можно сказать, неохотно и небрежно разрабатывала историю внешней политики и дипломатии Русского государства. Если оставить в стороне одно славное исключение — Сергея Михайловича Соловьева, то нельзя назвать буквально ни одного крупного историка России, который серьезно и подолгу останавливался бы на этом важном, сложном и очень мало, в сущности, изученном вопросе. Ни Ключевский, ни Платонов, ни Бестужев-Рюмин, ни Лаппо-Данилевский почти ничего в этом отношении не дали в своих больших курсах и ценных общих трудах. Монографическая литература тоже была

очень мала и далеко не всегда стояла на высоте современных научных требований. Были и счастливые исключения, но они лишь подтверждали правило.

В процессе своей работы я все ближе подходил к истории внешней политики России и ее дипломатических и экономических сношений с Европой. Перед самой революцией, в конце 1916 г., вышел второй том (первый вышел в 1913 г.) моего большого исследования «Континентальная блокада», причем особая глава в этой работе посвящена отношениям России и Франции при Наполеоне, а в обоих томах экономика теснейшим образом увязывается с политикой и дипломатией начала XIX века. Первая мировая война и последующие события уже сами по себе обострили внимание к вопросам международной политики и в прошлом и в настоящем. К этому прибавилось еще одно в высшей степени важное обстоятельство, которое сыграло очень большую роль в направлении моих научных занятий в первые же годы революции.

Советская власть буквально с первых дней своего существования поставила своей целью не только сберечь сокровища государственных архивов в обеих столицах и в провинции, но и радикально преобразовать их организацию и управление. Впрочем, слово «реорганизовать» здесь не совсем точно: советской власти тут приходилось в очень и очень многом не преобразовывать, а создавать на пустом месте. В 1918 г. я был назначен управляющим экономическими архивами Центрархива в Петрограде и принял непосредственное участие в первоначальном проведении этой широкой реформы в жизнь.

Наиболее непосредственно меня — не как работника Центрархива, а как исследователя — коснулось то, что прямо относилось к области все более и более захватывавших меня интересов выявления и анализа документов, касающихся истории русских дипломатических отношений и тесно связанной с ними военной истории России. Уже в 1924—1929 гг., при ежегодных и длительных (по 5 месяцев) командировках во Францию, кончая свои исследования по социально-экономической истории Франции, я одновременно много работал — не только в Национальном архиве, но и в Архиве Министерства иностранных дел в Париже — над двумя сериями документальных фондов, прямо относящимися к России. Это были: «Correspondance» — переписка послов с министерством и «Mémoires et documents» — колоссальная драгоценная коллекция разно-

образнейших рукописей, скоплявшихся в министерстве в особенном изобилии именно в те исторические периоды, когда Франция почему-либо начинала уделять более пристальное, чем всегда, внимание русским делам.

Между тем выявление и архивная систематизация бумаг былого русского Министерства иностранных дел быстро прогрессировали, и архивы Москвы и Ленинграда дали обильную жатву тем, кто начал ими интересоваться. Обнаружилось, что наши архивные сокровища не только полностью сохранены, но еще и приумножены и что советская власть решительно все сберегла даже в первые бурные годы.

Я помню, как мне пришлось (в 20-х годах) водить по ленинградским архивам приехавшего в СССР замечательного ученого архивоведа и историка, директора Национального архива в Париже, проф. Ланглуа, и как он изумился при виде великолепного зала архивов Синода. «Как? — воскликнул он. — Неужели у вас сохранились церковные архивы?» А когда я ответил утвердительно, то Ланглуа с убеждением сказал: «Ваша революция была умнее нашей!» и повторял это на все лады: «Votre révolution a été plus intelligente que la nôtre! Votre révolution avait plus d'esprit que la nôtre!» Он имел в виду, что в 1789—1794 гг. очень много церковных архивов во Франции было сожжено. Он мог бы повторить тот же комплимент и по поводу бережного охранения советской властью архивов Министерства иностранных дел: во Франции они сохранились после революции с бо̀льшими «лакунами», чем у нас. Документы по истории внешнеполитических отношений России от древних времен до наших дней были распределены после Октябрьской революции по архивохранилищам: Архив древних актов и Архив внешней политики (в Москве) и Центральный архив (в Ленинграде). Все они хранятся в образцовом порядке и вполне доступны для ученых исследователей. Много сокровищ я находил также в рукописных коллекциях Государственной Публичной библиотеки им. Салтыкова-Щедрина в Ленинграде.

Моя личная исследовательская работа в этой области сосредоточилась на периоде XVIII—XIX веков, причем я старался останавливаться на таких участках этого периода, которые казались мне либо недостаточно, либо неправильно освещенными и разработанными. А всякому исследователю известно, что существование даже и очень обильной историографии вопроса нисколько не является ручательством исчерпывающей научной разработки его. Архивная документация, выявленная, систе-

матизированная, ставшая широко доступной после революции, очень сильно помогла работе.

Много труда положил я на двухтомное исследование о Крымской войне. Здесь я остановился преимущественно на дипломатической истории этого великого столкновения. Наши документы дали возможность по-новому и более детально осветить ряд проблем, например о вступлении Австрии во враждебную России коалицию, о той сложной, роковой и вполне удавшейся прусским и австрийским дипломатам интриге, которая безнадежно рассорила Николая I с Наполеоном III, о роли Паскевича в уходе русских войск из Молдавии и Валахии, о предистории парижских мирных переговоров и о тайной антианглийской политике Наполеона III, о неожиданной существенной помощи, которую он оказал в этой связи А. Ф. Орлову весной (февраль и март) 1856 г., и т. д. Оказалось, что и военная история Крымской войны разработана не настолько полно, чтобы историк, даже посвятивший свое внимание лишь дипломатической стороне дела, мог вполне спокойно положиться на то, что сделано в области истории военных событий. Для примера приведу хотя бы поразительную русскую победу (когда был отбит общий штурм Севастополя) 6 (18) июня 1855 г., или взятие Карса. В старой историографии часто умудрялись (из «любезности» к Н. Н. Муравьеву) даже не упоминать имени истинного победителя, казачьего генерала Якова Петровича Бакланова. Западноевропейская историография Крымской войны, прямо скажу, тоже мало помогала мне, и сплошь да рядом я обнаруживал в ней плохую осведомленность, или пристрастие, или нежелание критически вдуматься в материал. Приведу и тут, наудачу, лишь один пример. Сидит в Константинополе в 1853 г. английский посол, лорд Стрэтфорд Редклиф, заклятый враг России, и изо всех сил толкает турок к объявлению войны. Но донесения свои министру Кларендону он пишет в таком духе, что, читая их и веря им, пришлось бы сказать: да, вот истинно миролюбивый дипломат! Это именно и говорят английские историки, во главе с таким ученым, как новейший автор (недавно скончавшийся) Гарольд Темперлей. Но ведь точно известно, что английская служебная традиция и дипломатия, прочно установленная при Пальмерстоне, повелевает британским послам писать так свои официальные донесения, чтобы потом, в нужный момент, можно было их напечатать в виде «Белой книги» в поучение современникам и потомству.

Конечно, оттого все английские «Белые книги» неизменно проникнуты голубиной невинностью, христианской кротостью и миролюбием. А по десяткам совсем других, менее официальных «каналов» Стрэтфорд Редклиф наисекретнейше сообщал в Лондон то, что он делал на самом деле. В процессе этой работы мне не раз приходилось восстанавливать в подобных случаях «права факта», т. е. истину.

В «Крымской войне» я остановился на вопросе о той дипломатической борьбе, которая привела к окончательному соглашению Австрии с Англией и Наполеоном III 2 декабря 1854 г. Документы, которые привлечены мною к анализу этого события, имевшего такие громадные последствия, не только никогда до сих пор не были использованы, но даже и не были известны. Вообще я старался восполнить ту зияющую пустоту в историографии Крымской войны, которую приходится констатировать касательно истинной роли Австрии, Пруссии и всего Германского союза. Отчасти тайная, отчасти открытая вражда немецких держав к России имела громадное значение для исхода титанической борьбы, в особенности в заключительном ее фазисе.

Другая моя работа — «Европа в эпоху империализма» относится к периоду с 1871 по 1919 г. и почти вся посвящена фактам и деятелям дипломатии и дипломатической борьбе за время от Франкфуртского до Версальского мира. Я старался выявить еще тогда, когда писал эту книгу, за четырнадцать лет до нападения на нас гитлеровской банды, корни и методы немецкой империалистической политики и решающую роль и ответственность Германии в возникновении первой мировой войны. Я всегда считал очень вредным заблуждением внушаемую немецкими фальсификаторами истории мысль о германской «невинности» в системе долгих провокаций, приведших к взрыву войны 1914 г.

Вскоре после этой работы я выпустил в свет книгу, в которой хотел собрать в сжатом виде результаты моих архивных работ по экономической и политической истории наполеоновского периода. Здесь также меня занимала прежде всего дипломатическая сторона дела. Моя книга «Наполеон» была переведена на английский, французский, немецкий, румынский, венгерский, болгарский, сербский, армянский, грузинский языки и вызвала очень большую критическую литературу. К этой работе, в которой большое внимание уделено России, примыкает также переведенная на многие иностранные языки книга «Нашествие Наполеона на Россию».

Эта книга вышла в свет еще за три года до нападения на нас гитлеровской орды, а на английский язык была переведена в 1942 г., что и дало повод прочитавшему ее английскому министру Даф-Куперу заявить в одной из своих парламентских речей (в 1943 г.), что если кто желает заранее узнать, каков будет конец гитлеровской авантюры, пусть прочтет книгу «Нашествие Наполеона на Россию».

В этой книге я также с особым вниманием останавливаюсь на дипломатии и на таких моментах, как конфликт Кутузова с сэром Робертом Вильсоном, представителем Англии в ставке великого русского полководца. Вильсон боялся, что Кутузов удовольствуется изгнанием Наполеона из России и не пожелает итти дальше и освободить Европу, а Кутузов заявлял Вильсону и Александру I, что в полном уничтожении Наполеона заинтересована не Россия, но Англия. Тематически обе мои работы («Наполеон» и «Нашествие Наполеона на Россию») тесно связаны между собой. В первой я старался установить грань между концом французской войны в защиту революционной страны от монархической интервенции и началом долгой серии кровавых империалистических войн Наполеона, кончившихся сначала порабощением почти всего континента Западной Европы, а потом совершенно неизбежным нападением агрессора на Россию. Во второй работе, посвященной 1812 г., я останавливаюсь на том, почему континентальная блокада, фатально ставшая единственным реальным средством борьбы Наполеона с Англией, неизбежно должна была, даже и помимо других, крайне существенных причин, привести к жесточайшему конфликту с Россией.

Специально заинтересовавшись весьма мало освещенным вопросом о русской дипломатической и общеполитической деятельности в Средиземном море, я предпринял систематическое исследование этой темы. Результаты своей работы в этой области я печатал в журнале «Морской сборник», а потом они выходили отдельными книгами. К числу таких исследований относятся: «Чесменская экспедиция (1770—1775)», «Экспедиция адмирала Ушакова в Средиземное море (1798—1800)» и, наконец, подготовленная к печати работа «Экспедиция адмирала Сенявина в Средиземное море (1805—1807)».

В этих исследованиях, также в значительной мере основанных на неизданной документации (больше всего — из Государственного архива Военно-Морского Флота, из Архива древних актов, Архива внешней

политики и рукописного отделения Публичной библиотеки им. Салтыкова-Щедрина), я выясняю стародавние стремления России осуществлять свои права на свободное плавание в Средиземном море, характерную упорную военную борьбу против турок и дипломатический антагонизм между Англией и Россией, а также Францией и Россией на этом море. Россия никогда не соглашалась признать Средиземное море ни английским «озером», ни французским. Тяготение греков и балканских славян к России также связано с этими тремя первыми походами русских морских сил и военными подвигами наших моряков. На основании переписки Нельсона с Ушаковым и с английскими морскими начальниками выясняется вся двойственность действий британской политики, целью которой был захват в прочное английское владение всех Ионических островов. Нельсон не скрывал своей большой досады по поводу того, что Ушаков предупредил его планы, взяв штурмом крепость на Корфу и упрочив русское завоевание. Греки Ионических островов, которым Ушаков даровал широкое самоуправление, в течение ряда поколений вспоминали о нем с большой любовью и уважением.

Мои исследования об этих трех экспедициях (две работы уже вышли в свет) будут вскоре дополнены книгой под общим названием «Русские на Средиземном море в XVIII и начале XIX века».

Эти три исследования касаются больше всего именно дипломатических отношений России, связанных с русскими военными действиями в Средиземном море, т. е. такой проблемы, которой ни у нас, ни в европейской науке почти никто и не касался. Писавшие об этих экспедициях историки интересовались главным образом лишь военно-морскими операциями. Между тем дипломатическая деятельность в первой экспедиции Алексея Григорьевича Орлова-Чесменского, во второй — адмирала Ушакова и в третьей — адмирала Сенявина имела очень серьезное общее значение в истории внешней политики России в XVIII и в первые годы XIX века, в частности в истории славяно-русских и греко-русских отношений. Старая традиция дружественных отношений балканских славян и греков в их борьбе против турецких насильников и угнетателей восходит именно к временам этих трех экспедиций.

В настоящее время я занят большой работой под общим названием «Внешняя политика России при Екатерине II». Эта работа будет продолжена анализом событий при Павле и Александре и рассчитана на

ближайшие годы. Пока из этой работы готовы к печати глава, характеризующая Екатерину II и ее ближайших сотрудников как дипломатов, и три главы о русской дипломатии в годы трех разделов Польши. Подготовляются к печати главы о походе Валерьяна Зубова против Персии, о вооруженном нейтралитете.

В работе о Екатерине мне также пришлось привлечь новый материал и очень критически пересмотреть старые установки, получившие права гражданства в исторической литературе. Я выясняю роковые для Польши условия, толкнувшие Екатерину на раздел территории Польши, чему она долго противилась. Говорю также о блестящей дипломатической победе Екатерины над Вильямом Питтом младшим; опровергаю пущенную из Германии легенду о «влиянии» Фридриха II на русскую дипломатию.

Привлеченные мной к исследованию архивные материалы позволили мне внести значительную поправку к традиционному взгляду на отношение Екатерины II к французской революции. Конечно, не может быть ни малейшего сомнения, что императрица с присущим ей дипломатическим талантом широчайше использовала ту свободу рук, которую дала ей война Австрии, Пруссии, Швеции, Англии против революционной Франции. Но этот правильный, традиционный взгляд не дает все-таки полного представления о том, как на самом деле обстояло дело: Екатерина очень опасалась влияния революции в самой России и, судя по ряду признаков, только потому не вмешалась непосредственно в вооруженную интервенцию против Франции, что долго надеялась на конечную победу монархических интервентов и торопилась использовать свободу рук для своих планов на Кавказе, в Персии и т. д. Но она одушевлена была по отношению к революции теми же чувствами, как и позднейшие «жандармы Европы» и интервенты.

Работа над первыми русскими экспедициями в Средиземное море заставила меня обратиться к мало освещенному, но значительному по существу вопросу о начале русского флота и о его роли во внешней политике его создателя — Петра I. В вышедшем в 1946 г. моем небольшом исследовании я разрабатываю этот специальный вопрос. Я выясняю долгую и упорную работу английских дипломатов, направленную к срыву русско-шведских мирных переговоров, и прихожу к тому выводу, что лишь создание сильного флота Петром принудило Швецию согласиться на мир спустя двенадцать лет после Полтавы.

Мне пришлось заниматься историей дипломатии также в моей специальной работе «Приемы буржуазной дипломатии», помещенной в третьем томе коллективного труда «История дипломатии», вышедшего под редакцией В. П. Потемкина. Наконец, вскоре выйдет в свет печатающаяся в Издательстве Академии Наук моя работа о Талейране. Остовом ее послужила вышедшая несколько лет назад моя книга об этом деятеле, но нынешнее издание ее, почти вдвое превосходящее размерами первое и дающее ряд новых глав, особенно имеющих отношение к России, является пересмотром и в значительной степени опровержением взглядов на Талейрана современной западноевропейской и американской историографии, превозносящей в ряде трудов именно теперь, в последние 20—25 лет, французского дипломата «выше облака ходячего», как его никогда не превозносили раньше, даже в середине XIX века. Я считал, что советская историческая наука должна дать отпор этому антинаучному течению,— и наша архивная документация (не известная вовсе или очень мало и из третьих рук известная западным исследователям) сослужила мне и тут большую службу.

В своем университетском преподавании — и в лекциях, и в семинарах — я старался заинтересовать моих слушателей вопросами истории внешней политики России и других стран и могу с большим чувством удовлетворения отметить, что некоторые мои слушатели и лица, работавшие под моим руководством, уже дали ряд серьезных трудов, отчасти появившихся в печати, отчасти ждущих опубликования.

Большинство этих работ либо уже удостоены ученых степеней, либо вскоре будут защищаться на диспутах. Живой интерес молодых ученых, с которыми я связан, к истории русской внешней политики и дипломатии несомненен.

Мои товарищи по Ленинградскому и Московскому университетам и по Институту истории Академии Наук как в Москве, так и в Ленинграде, профессора русской и всеобщей истории могли бы на основании своего опыта подтвердить и очень пополнить мои наблюдения.

Работы ученой молодежи, и напечатанные, и ждущие выхода из печати, не мало вносят и нового материала, и самостоятельного исследовательского труда. Никогда в прежнее время не было такого стремления к изучению внешней политики и дипломатии, этой прежде заброшенной у нас и забытой области истории, как в настоящее время.

Мы обдумываем давно уже поднятый многими историками вопрос о систематическом, обширном и широко поставленном научном труде (конечно, коллективном), посвященном специально истории советской внешней политики и дипломатии. Научные кадры для подобного предприятия у нас уже подготовлены. Создать такой научный памятник периоду величайших достижений Сталинской эпохи в области внешней политики и грандиознейших военных побед, какие только знала Россия за одиннадцать столетий своего существования,— долг советских историков перед наукой и родиной, и они *должны его выполнить*.

Академик

В. И. Пичета

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕТСКОГО СЛАВЯНОВЕДЕНИЯ

I



ореволюционные историки-слависты оставили после себя значительное литературное наследство. Ими был поставлен и монографически разработан ряд научных проблем, имевших в свое время актуальное значение.

Одной из основных проблем, которая находилась в центре внимания русских славистов дореволюционного времени, была проблема происхождения (этногенеза) славян. Этому первостепенной важности вопросу уделяли много внимания И. Е. Забелин, Д. И. Иловайский, Д. Я. Самоквасов, С. М. Соловьев, В. О. Ключевский, А. А. Шахматов, М. С. Грушевский и др. Однако этот вопрос не был удовлетворительно разрешен дореволюционными сторонниками «индоевропейской теории». Правда, они отказались признать славян мигрантами из Азии, справедливо считая их автохтонами в Европе. Ими были высказаны интересные, но противоречивые суждения об этногенезе славян, и проблема этногенеза славян не могла быть разрешена ими полностью, поскольку они исходили из двух ошибочных теоретических предположений: а) прародины славян, в которой славяне жили неразделенной прасемьей, и общего праязыка славян; б) миграции славян. Что касается первого теоретического предположения, то исследователи, занятые поисками прародины славян, естественно приходили к разным выводам. Если С. М. Соловьев считал прародиной славян Дунай, то

В. О. Ключевский создал теорию о двух прародинах: сначала прародиной славян была река Дунай, а оттуда они передвинулись к Карпатам. Академик А. А. Шахматов искал прародину славян у Балтийского моря, в бассейне Западной Двины и нижнего Немана. Впрочем, эта территория была лишь первой прародиной славян. Отсюда славяне, известные под именем венетов, передвигаются на нижнюю Вислу, на место готов, ушедших в Причерноморье в конце II и начале III века. Таким образом, нижняя Висла стала для славян второй прародиной. Когда же Причерноморье было очищено от готов, славяне двинулись на восток и юг. Это была третья по счету прародина восточной и южной ветвей славянства. Другие исследователи, как И. Е. Забелин, Д. И. Иловайский и Д. Я. Самоквасов, находили возможным генетически связывать славян с древними скифами, о которых так подробно писал Геродот.

В зависимости от установления прародины славян, различным образом определялось и направление миграции их, приведшей к распаду праславянской семьи и образованию трех ветвей славянства — восточной, южной и западной.

Русские историки-слависты считали славян этнически и языково вполне сложившимися уже на территории прародины. Эта единая праславянская общность распалась в результате начавшейся миграции. Со своей прародины одни славянские племена перешли через Дунай на Балканский полуостров и стали основным этническим элементом в формировании южных славян, другие мигрировали на северо-запад и образовали ветвь западного славянства, третьи избрали направление на северо-восток и стали основным ядром в формировании восточного славянства.

Если теория прародины предполагает общественную и языковую общность, то в этом случае необходимо поставить вопрос, откуда же пришли славяне на свою прародину, если они выступают на ней как уже вполне сложившееся этническое целое. Однако на этот вопрос, вместо ясного ответа, было дано лишь указание, что славяне — это одна из ветвей индоевропейской семьи, но только не вышедшей из Азии, а отпочковавшейся в Европе, поскольку последняя стала рассматриваться историками как прародина индоевропейцев.

Совершенно очевидно, что эти противоречивые теории о прародине славян были лучшим показателем того, что в действительности не было

никакой прародины славян и что теорией славянской прародины и миграции славян нельзя объяснить ни этногенез славян вообще, ни происхождение восточных, южных и западных славян. Равным образом в польской и чешской историографии также было высказано не мало противоречивых мнений по вопросу о прародине славян.

Известный чешский славист И. Добровский справедливо возражал против «азиатской» теории, созданной главным образом немецкими историками. Он утверждал, что славяне являются в Европе такими же стародавними поселенцами, какими были греки, германцы и римляне. Польский историк Иоахим Лелевель утверждал, что славяне, хотя и под другими названиями, не менее двух тысяч лет живут в местах своего нынешнего поселения между Одрой (Одером), Вислой, Неманом, Днепром, Днестром и Дунаем. Вслед за польским историком Ю. Венелин также предполагал, что «славяне суть старожилы в Европе наравне с греками и латинянами». Словацкий ученый П. Шафарик, известный автор «Славянских древностей», отмечал, что ни одному из исследователей североевропейских древностей не приходило в голову, что «славяне не были там старожилами, древнейшими обитателями». Шафарик утверждал, что прародиной славян были северо-западные и северо-восточные отроги Карпат, т. е. области, приблизительно совпадающие с пределами нынешней Галиции, Волыни и Подолии. Теория чешского слависта оказала известное влияние на теорию В. О. Ключевского о двух прародинах.

В начале XIX века чешский ученый Л. Нидерле приступил к пересмотру суждений П. Шафарика, имея в своем распоряжении новый богатейший археологический материал, который до сих пор оставался вне поля зрения исследователей. Нидерле в основном примыкает к теории Шафарика, допуская, однако, возможность расширения прародины славян не на запад — за Вислу, а на восток — на бассейн Днепра с Десной, Припять с Березиной. Граница славянской прародины, по мнению Нидерле, простиралась от Карпат до Могилева на Днепре на северо-востоке, от Вислы — на северо-западе до Киева — на юго-востоке. Однако теория прародины Шафарика — Нидерле уже не удовлетворяла исследователей. Профессор Краковского университета Ростафинский на основании данных общеславянского словаря о растениях и животных, обитавших на славянской прародине, ищет ее в Центральной России, а профессор того же университета Розвадовский, анализируя названия рек в

Центральной и Восточной Европе и убедившись в индоевропейском происхождении большей части этих названий, считает, что прародина славян значительно восточнее, «где-то за Неманом и Днепром».

Теории славянской прародины были дополнены теорией археологов Я. Костжевского и Л. Козловского. Оба ученых считают, что так называемая «лужицкая культура» была культурой расширенной территории славянской прародины до средней Лабы на западе и до Буга на востоке, от устья рек Одры и Вислы на севере до Карпат на юге.

Известной реакцией против этих теорий славянской прародины была поддержанная польским этнологом К. Мошинским теория «азиатской» прародины. По мнению исследователя, «истоки славянского языка находятся на Востоке, правдоподобно в Азии, на северном пограничье великой степи». Впрочем, по справедливому замечанию проф. Т. Леер-Сплавинского, К. Мошинский в дальнейшем приближается к сторонникам восточноевропейской прародины славян, отмечая, что «где-то уже за несколько сот лет тому назад до нашей эры славяне занимали огромное пространство от диких полей — до побережья Балтики включительно». Наконец, Леер-Сплавинский в своей последней интересной и ценной книге «О происхождении и прародине славян» предпринял новую попытку разрешить этот вопрос с точки зрения индоевропейской теории. В методологическом отношении труд Леер-Сплавинского делает значительный шаг вперед по сравнению с другими трудами индоевропеистов. Славяне не выступают на прародине, отмеченной Леер-Сплавинским, как уже сложившийся этнический, языковый и культурный элемент, а формируются в длительном процессе встреч и скрещения разных этнических, языковых и культурных элементов. Таким образом, происхождение славян — длительный, вековой процесс.

Леер-Сплавинский справедливо считает, что процессы этногенеза и формирования языкового единства отнюдь не являются результатом однолинейного развития одного племени. Взаимные связи и скрещения отдельных племен в конечном итоге содействовали образованию единой этнической общности, известной под именем славян. Правда, он не ставит вопроса об индоевропейской прародине, но она у него существует где-то в Центральной Европе, где уже в конце неолитической эпохи стали выделяться какие-то этнические и языковые группы, которые продвигались на восток, где они смешивались в этническо-языковом отношении с мест-



ными аборигенами. Леер-Сплавинский, как и другие польские археологи, представляет себе этнический процесс весьма односторонне и ошибочно. Более культурные племена, идущие с запада, из центральной Германии, ассимилируют первоначальные поселения, местный «этногенетический субстрат», который в процессе скрещения с пришлым населением полностью в нем растворяется. Таким образом, местному «этногенетическому субстрату» отводится чисто пассивная роль — быть одним из ингредиентов нового этногенетического образования. Таково было последнее слово польской науки об этногенезе славян.

В течение более ста лет историки-слависты и лингвисты были заняты поисками прародины славян и вопросом об их происхождении. В этих длительных поисках принимали деятельное участие виднейшие русские, чешские и польские ученые. Обилие столь противоречивых теорий о прародине славян и об их этногенезе является наилучшим показателем того, что, в сущности, теория о прародине и праславянской семье — миф, созданный индоевропеистами. Теория эта предполагает наличие уже вполне сложившегося, этнически и языково, славянского племени. В этом случае возникает вопрос, как же сформировалось это этническое и языковое единство славян. Положительный ответ на него давала только «азиатская» теория, законно сданная в архив сторонниками индоевропейской теории, но последние исследователи, за исключением Леер-Сплавинского, не дали ответа на вопрос, каков же был процесс формирования этническо-языкового единства славян на европейской прародине.

С теорией прародины тесно связана теория миграции славян. В этом отношении все упомянутые исследователи были сторонниками миграции. Они расходились лишь в том, что намечали различные направления миграции, что зависело от определения ими места нахождения прародины славян. Поэтому такой сложный и важный вопрос, как этногенез славян, оказался до крайности запутанным.

Явно неудовлетворительное состояние вопроса об этногенезе славян, естественно, привлекло к себе внимание советских славистов — историков, археологов и филологов. Как же можно было изучать историю любого славянского народа, если его происхождение все еще оставалось невыясненным? Вполне понятно, что советские слависты прежде всего должны были сосредоточить свое внимание на исследовании вопроса об этногенезе славян и дать этой проблеме новое, позитивное объяснение.

В основе марксистского понимания этногенеза лежит процесс развития производительных сил, переход от одной стадии общественного развития к другой, сопровождаемый этническими скрещениями на основе общей тенденции к этнической «интеграции». Только этим развитием можно объяснить переход населения от одной культуры к другой, а не результатом влияния каких-то пришельцев, принесших с собой новую культуру, стоящую на более высоком уровне.

Как сложившиеся нации народы Европы появились на исторической сцене не сразу. Долог и сложен был путь их развития. «Нынешняя итальянская нация, — говорит И. В. Сталин, — образовалась из римлян, германцев, этрусков, греков, арабов и т. д.... французская нация сложилась из галлов, римлян, бриттов, германцев и т. д. То же самое надо сказать об англичанах, немцах и других, сложившихся из людей различных рас и племен» [1]. Процесс этнического развития славян был аналогичным, хотя в ходе истории славяне и не образовали единой нации. Славянские народы возникли отнюдь не вследствие распада некогда единой «прародины». Путь их развития идет, наоборот, от первоначальной множественности племен (и рас) к последующему их объединению и взаимному скрещиванию. Н. Я. Марр, творец яфетической теории, писал: «Процесс возникновения племени, а тем более народа — это длительный акт нарастания все новых и новых, скатывающихся в один клубок слоев не только в различные эпохи, но и в различных местах» [2]. Справедливо отмечает А. Д. Удальцов [3—5], что, в ходе этого процесса, в основе которого лежит развитие общественных производительных сил и производственных отношений в их диалектическом взаимодействии, племена и народы последовательно проходят определенные стадии своего культурного и языкового развития, определяющего их этнические особенности. Роль переселений (миграций) в этом культурном развитии оказывается второстепенной» [3]. В своих работах об этногенезе славян Удальцов подчеркивает, что основной процесс этногенеза — это процесс развития от множества к единству, процесс этнической интеграции. «Конечно,— пишет он,— наряду с этим основным, ведущим процессом, не отменяя его, проявляется и вторичный, необычный процесс этнической дифференциации, процесс распадения более крупных племен и народов и образования как бы сыновних племен и народностей, отчасти на почве локальных скрещений» [6, стр. 257]. Необходимо также иметь в виду,

что «диалектика обоих процессов в их общей связи и создает своими противоречиями, а также и неравномерностями развития отдельных племен и народностей, развивающихся то более быстро, то более замедленными темпами, ту конкретную для каждой данной эпохи, объективную этническую многообразную действительность, которая и составляет предмет изучения этногенетики» [6, стр. 258].

Согласно исследованиям А. Д. Удальцова, процесс этногенеза славян представляется в следующем виде. Основной территорией, на которой сложилось славянство, была обширная область от реки Одры на западе до Днепра и Верхней Волги и Оки на востоке и от Балтийского моря на севере до Карпатских гор на юге. В древности эта территория была населена основными предками славян — сколотами, жившими по среднему Днепру и Днестру; венетами, или венедами, жившими к северу от Припяти и по верхнему Днепру, и примыкавшими к ним племенами Верхней Волги и Оки, известными нам только по оставшимся после них городищам («дьякова типа» — от села Дьякова около Коломенского под Москвой), а на западе — лугиями в бассейне Варты и Вислы.

Однако процесс формирования славянства шел неравномерно на протяжении всей обширной территории славянского этногенеза. Ядро славянского этногенеза складывалось первоначально на территории среднего Днепра и современных Правобережной Украины и Белоруссии, где в III тысячелетии до н. э. процветала так называемая «трипольская культура» первобытных поселенцев — яфетидов, знавших скотоводство и производство «крашеной» керамики и живших еще материнским родом. В процессе перехода к скотоводству как ведущей отрасли хозяйства, к освоению бронзы и к отцовскому роду эти племена расширили территорию своего обитания к северу и северо-востоку. К этнической среде трипольской культуры непосредственно примыкали сколоты, жившие между Днепром и Карпатами и подпавшие под власть скифов-кочевников, пришельцев из Азии. Область сколотов была наиболее культурным центром Восточной Европы. Она поддерживала культурные связи и с западом, и с югом, с греческими колониями северного Причерноморья и со скифо-сарматскими восточными племенами.

Среди сколотских племен во времена Геродота особенно выделялось племя «паралатов», впоследствии известных под именем то палов, то спалов, то спалеев. Прокопий, византийский писатель VI века, называл

их спорами, а наша Начальная летопись — полянами. На севере сколоты встречались с предками славян венетами, южную часть которых составляли невры Геродота. Впрочем, венеты были предками не только славянских, но и литовских или балтийских племен (литовцев, латышей, древних пруссов), с течением времени отделившихся друг от друга.

Венеты были земледельческим племенем, но в своем культурном развитии стояли ниже сколотов, южных предков славян. Северные предки славян — племена так называемых «дьяковых городищ» были земледельческо-скотоводческими племенами. Таким образом, основное ядро древнейшего славянства складывалось на основе взаимного сближения в ходе истории, взаимного скрещивания и постепенной выработки общих особенностей языка, материальной и духовной культуры двух основных племенных групп — сколотской и венетской, а впоследствии и более северных племен «дьяковой культуры».

В конце III и начале II века до н. э., вероятно с верховьев Одры и Вислы, к берегам Черного моря двинулись иллирийские племена бастарнов. Под гегемонией бастарнов образовался обширный союз племен, охватывающий северное Прикарпатье и Поднестровье, а также западное Причерноморье. Под давлением бастарнов было подорвано владычество скифов в Причерноморье, и территория скифского царства значительно сократилась. Во II веке до н. э. с востока приходят сарматы в лице языгов и роксалан. Они еще более сократили территорию скифского царства и, представляя большую внешнюю силу, становились серьезной угрозой для племен Восточной Европы.

В результате прихода сарматских племен земледельческие племена, подпав под власть новых пришельцев, вынуждены были отступить к северу. Они были отрезаны от Черного моря, и южные культурные связи их ослабели. Под давлением сарматских племен сколоты стали теснее сближаться с венетами. А. Д. Удальцов отмечает, что это сближение привело к образованию настоящего военно-племенного союза, объединявшего южных и северных предков славян под гегемонией споров, или спалов. Прокопий Византийский, писатель VI века, упоминает, что некогда все славяне назывались спорами. Движение на север южных предков славян подтверждается и данными археологии. Последняя установила постепенное продвижение полей погребения с юга на север, что говорит о культурном влиянии, шедшем с юга. Удальцов допускает воз-

можность прямого проникновения поселенцев с юга за Припять, что в известной степени подтверждается и данными археологии. Таким образом, по мнению Удальцова, в начале нашей эры, в результате тесного сближения южных и северных предков славян, возникло «образование ранней славянской народности, первоначально сильно дифференцированной, но с ходом истории все более и более консолидирующейся и расширяющей территорию своего распространения». «Из этой раннеславянской народности путем скрещения ее с другими родственными ей народностями образовались затем западные и южные славяне...».

Между Одрой (Одер) и Вислой жили племена лугиев, или лигиев, земледельческие племена, через земли которых проходили торговые пути (в частности, важнейший вел от среднего Дуная к Балтийскому морю), по которым в древности шла торговля янтарем между Прибалтикой и Южной Европой. Немецкие археологи еще до фашизации Германии пытались причислить лугиев к германским племенам. В свою очередь, польские археологи видели в лугиях уже славянские племена. Основываясь на данных Тацита и Страбона, Удальцов справедливо считает лугиев «самостоятельной крупной народностью, состоявшей из нескольких племен». Эти племена лугиев вошли в состав западного славянства.

Изучение А. Д. Удальцовым данных топонимики позволяет ему установить известное родство лугиев с венетами. Он предполагает, что «лугийские племена называли себя издавна еще венедами, или вендами, как впоследствии немцы называли западных славян». Сами же лугии, по справедливым наблюдениям Удальцова, «представляли собой в основе своей автохтонов страны, корнями своими уходящих в древние племена так называемой лужицкой культуры (XIV—VI века до н. э.), представляющей собой в области материальной культуры ... самое лучшее, что создала продолжительная эпоха бронзы в Европе».

С начала нашей эры наблюдается движение восточногерманских племен на восток, за Одру. Бургунды продвинулись за Варту, вандалы в Силезию, а готы утвердились на правом берегу нижней Вислы. Однако племена лугиев и венетов дали отпор раннегерманской агрессии. Германские племена обратились к югу и западу, а раннее славянство начало движение на запад вплоть до Лабы (Эльбы). Это движение, повидимому, заканчивается в VI веке.

Движение на запад и образование новых племенных лугийско-венетских союзов, по мнению А. Д. Удальцова, происходило неравномерно. Быстрее всего движение было на севере. Оно дало полабских и поморских славян и поляков.

Сравнительно быстро шло движение на юге, объединившее вместе и венетов, и склавинов Прокопия и давшее в результате чехов, моравов и словаков. Всего медленнее шло движение в центре, в области будущих лужицких сербов, где население сохранило свое древнее имя «лужичи», происшедшее, видимо, от лугиев. Так, к началу VI века н. э. образовались западные славяне.

Образование южных славян связано с продвижением раннеславянского ядра к югу за Дунай, начавшимся в V—VI веках. В нем приняли участие племена южной ветви раннеславянской народности, называвшиеся теперь антами и склавинами. По справедливому утверждению Удальцова, «племена южных славян образовались в результате скрещения этих ранних славянских племен с коренным автохтонным населением севера Балканского полуострова, с родственными славянам иллирийцами и фракийцами, хотя часть последних, будучи романизована во время римского господства, не приняла участия в процессе южнославянского этногенеза». Особенностью этногенеза болгарского народа явилось дальнейшее скрещение восточной части придунайских славян с пришлыми с востока в VI—VII веках вольными дружинами болгар, вероятно тюркского происхождения, скоро слившимися со славянами. В результате этого слияния и образовался единый славянский болгарский народ.

Что же касается образования восточной ветви славянской народности, то она, по мнению Удальцова, «сложилась к началу н. э. в составе двух ветвей, южной или склавинской, образовавшейся из древних сколотов, и северной — венетской. В эпоху великого переселения народов продолжалось дальнейшее сплочение этой народности, расширение ее территории на северо-восток, в область старинной культуры «дьяковых городищ», участие ее в движении за Дунай и в образовании на бывшей территории Восточной Римской империи южного славянства». Процесс сложения восточнорусского славянства особенно подвинулся вперед, когда на юге Восточной Европы, в борьбе с готами, сложился обширный антский союз славянских племен, первые сведения о которых дошли до нас от IV века.

А. Д. Удальцов справедливо замечает, что «культура этой ранней Руси, или антская культура (IV—VII века), развивалась самостоятельно, продолжая мирные традиции культур эллино-скифской и сармато-аланской, и дала в дальнейшем культуру Киевской Руси, воспринявшей позднее и самостоятельно переработавшей культурные традиции Византии, частью через посредство Болгарии».

В VII—VIII веках славянские племена начинают переходить от стадии первобытной общины и военно-племенных союзов к классовому обществу и созданию славянского государства. Таким образом, венеты, анты и склавины были основными компонентами протославянской этнической общности. От скрещения этих трех этнических славянских элементов складывается первоначальное ядро славянской общности. «В своем дальнейшем расширении, — говорит А. Д. Удальцов, — эта общеславянская народность, скрещиваясь с близкими народностями — лугийской, иллирийской, отчасти алано-сарматской, все более и более консолидируется, а в то же время и дифференцируется, давая начало различным племенам и народам восточных русских, западных и южных славян, сходных и в то же время отличных друг от друга». Проблеме этногенеза славян уделял также много внимания академик Н. С. Державин [7—9].

Прежде всего Н. С. Державин отмечает этническое единство Днепро-Дунайского бассейна. Согласно наблюдениям исследователя, уже во второй половине VI века юго-западное Причерноморье, вплоть до Дуная, было занято восточными славянами, территориально и непосредственно связанными со славянским населением Римской Дакии и Нижней Мизии. На этой территории выступает первая русская славянская держава — Киевское государство, этническую основу которого составляют местные племена или поселения, — по свидетельству Прокопия, простиравшаяся до Приазовья. Однако формирование этого этнического общества было итогом длительного этногенетического процесса.

Н. С. Державин также считает, что «протославяне, т. е. славяне на стадии дославянского этнографического оформления, —такой же исконный с глубокой древности народ в Европе, как и их позднейшие соседи — германцы и кельты, первоначально протогерманцы и протокельты на западе или протолитовцы и протофинны на востоке, но до индоевропейской, т. е. яфетической стадии, общей для всех европейских народов, они не выделялись как особый, окончательно сложившийся в процессе племен-

ных скрещений этнографический тип среди прочих племен, населявших европейский материк...» [9, стр. 10—11]. В вопросе изучения этногенеза славян А. Д. Удальцов и Н. С. Державин держатся одного метода, но тем не менее следует отметить у них известное расхождение по отдельным вопросам этногенеза славянских народов. Так, Державин причисляет фракийские племена к славянам, а болгарскую дружину он считает в значительной степени ославянившейся еще до вторжения болгарских дружин на Балканский полуостров. Державин значительно расширяет территорию восточнобалканских славян. По его мнению, в «состав болгарского народа входило также и славянское население Валахии, Семиградья и восточной части Венгрии вплоть до Дуная, а также и славянское население Греции» [9, стр. 50]. Равным образом, «словенцы, они же словинцы, сложились, выросли и оформились в особую этнографическую единицу, или этнографический тип на исторически занимаемой ими территории в длительном процессе племенных скрещений со своими соседями — лигурами, иллирами, ретами, галлами и др., переживая вместе с ними, до своего оформления в славянский индоевропейский тип, доиндоевропейскую, яфетическую стадию развития» [9, стр. 45]. Академик Б. Д. Греков также подчеркивает этническое единство Днепро-Дунайского бассейна, как и миграцию славян на Балканский полуостров, однако расходится с Н. С. Державиным по вопросу о характере самой миграции и ее социально-политических последствиях для Византии. Равным образом Греков, как и Удальцов, справедливо считает болгар тюрками.

Проблема этногенеза вообще была в центре внимания советских исследователей. Т. П. Пассек [10], М. А. Тиханова [11], М. И. Артамонов [12] и др. своими исследованиями в известной степени дополнили наблюдения Н. С. Державина и Б. Д. Грекова относительно этнического единства Днепро-Дунайского бассейна.

Так, проблема этногенеза, поставленная советскими археологами и историками, перестала быть загадкой, которую исследователи пытались разрешить в течение более столетия. Можно утверждать, что процесс этногенеза славян уже достаточно выяснен. Если между исследователями имеются неизбежные научные разногласия, то они касаются отдельных частных вопросов, нуждающихся в дополнительном и критическом исследовании. Большой научной заслугой советских исследователей является то, что они показали призрачность теории прародины и прасемьи славян

и расстались с теорией бесконечной миграции славян. Советские исследователи, конечно, не отрицают миграционного движения под влиянием тех или других экономических и политических условий, но эта миграция носит узко локальный характер в пределах определенной территории.

Только благодаря работам советских археологов можно было правильно осветить и показать процесс формирования основных центров славянства на основе местного этнического населения. Работы советских археологов и историков познакомили с предшествующей историей восточных славян и с локализацией славянских культур, с их сближением и перемещением. На основе всех этих данных складывается та этнографическая карта восточнославянских племен, которая дана в Начальной летописи. Археологический материал в основном подтвердил правильность летописных данных в отношении этнографической карты не только восточного славянства, но также западного и южного. Работы советских исследователей раскрыли те фальсификаторские, антинаучные приемы, которыми пользовались буржуазные немецкие историки, тщетно стремившиеся показать, что все праиндоевропейцы или праиндогерманцы сложились на севере Германии, в Ютландии и Скандинавии главным образом на основе северной (нордической) расы. По мнению немецких буржуазных специалистов, в особенности Коссина, праиндоевропейцы рассеялись отсюда по Европе и Азии вплоть до Индии, смешались с туземным «неарийским», населением и таким образом, в результате смешения, получили начало разнообразные индоевропейские народы, в том числе и славяне.

В немецкой, а частично и в дореволюционной русской историографии, поддерживалась легенда о большом готском государстве, будто бы господствовавшем в III—IV веках в Восточной Европе, в том числе и над славянами. Советские исследователи раскрыли всю призрачность этой легенды, созданной немецкими шовинистическими археологами и историками. Всестороннее изучение археологических и письменных источников показывает, что готы не принесли с собой в Причерноморье более высокой культуры. Они были бедным в культурном отношении народом и нашли у местных причерноморских племен более высокую культуру. По мнению А. Д. Удальцова, готы «до такой степени усваивают эту местную материальную культуру, что становятся археологически почти

не отличимыми от местных племен, сохраняя, однако, свое языковое своеобразие».

Проблема этногенеза древних славян, независимо от того, как она разрешалась дореволюционными исследователями, требовала разработки вопроса об этногенезе трех братских народов — русского, украинского и белорусского. К ней не раз возвращались такие выдающиеся дореволюционные исследователи, как академики А. А. Шахматов, Е. Ф. Карский, А. И. Соболевский, М. С. Грушевский. Однако им не удалось дать удовлетворительный ответ на затронутый вопрос, хотя ими, в особенности Шахматовым, было сделано немало ценных наблюдений над этногенезом русского, белорусского и украинского народов. Ошибочным и ненаучным с точки зрения этногенетики было рассуждение Грушевского относительно этногенеза украинского народа. Грушевский уже в южных славянских племенах восточного славянства видел ветвь, вполне обособившуюся от прочих восточнославянских племен. Он относил образование украинского народа, как отдельной этнической группы, к очень раннему времени, а Киевскую Русь считал только государством украинского народа. В свою очередь, уже в советский период, белорусские националистические историки, по тем же соображениям, что и Грушевский, утверждали, что северо-западная ветвь восточного славянства в лице дреговичей, полоцких кривичей и радимичей уже на заре истории была обособлена от северо-восточной ветви восточного славянства и представляла собой этническое образование, отличное от этой ветви. Поэтому, согласно их мнению, образование белорусского народа относится к очень отдаленному времени. Эти антинаучные концепции подвергались справедливой критике в трудах академика Б. Д. Грекова. Последний в своих исследованиях показал, что Киевское государство было государством всей Руси, государством предков русского, украинского и белорусского народов [13 и 14]. Постановка Грековым вопроса об этногенезе трех братских народов настоятельно требовала от исследователей изучения вопроса об их этногенезе. Академик Н. С. Державин первый попытался осветить вопрос о происхождении русского, украинского и белорусского народов. В его исследовании были намечены основные этапы этногенетического процесса. Вместе с тем он высказал ряд спорных положений и гипотез, нуждающихся в дополнительном исследовании. Новая попытка разрешить этногенез белорусского народа была предпринята автором

настоящей статьи [15]. Краткий обзор дореволюционной литературы позволил ему показать ошибочность высказываний А. А. Шахматова в отношении радимичей как переселенцев «от ляхов» и отметить положительную роль Е. Ф. Карского в изучении поставленного вопроса. По мнению автора, белорусский народ формируется на основе славянских и неславянских элементов, с которыми сталкивались славяне, предки белорусского народа, в условиях определенной социально-экономической и политической обстановки. Формирование белорусского народа началось со времени распада русской народности в результате завоевания Северо-восточной и Юго-западной Руси монголо-татарами, когда северо-западная ветвь восточного славянства оторвалась от северо-восточной и вошла в состав Великого княжества Литовского, в пределах которого «русские земли» пользовались известной автономией. В Великом княжестве Литовском образовалось несколько этнических районов, сначала экономически обособленных друг от друга, но затем сближавшихся под влиянием роста экономических связей между ними. Развитие экономических связей уничтожало обособленность каждого района и формировало единый экономический организм, что содействовало скрещиванию славянских этнических элементов как между собой, так и с соседними неславянскими элементами. Основное этническое ядро белорусского народа составляли: полочане, кривичи на верхнем Днепре, дреговичи между Западной Двиной и Припятью, радимичи на реке Сож. Дополнительным этническим компонентом были: литовское племя, частично финское, древляне, волыняне и ятвяги. Автор относит завершение процесса формирования белорусской народности ко второй четверти XVI века, когда складывался литературный белорусский язык на первом этапе своего развития со всеми его фонетическими и морфологическими особенностями.

II

Второй проблемой, которая была в центре внимания советских археологов и историков, была проблема экономического быта восточных славян, о котором в дореволюционной и частично в советской историографии было высказано немало противоречивых суждений. Сущность разногласий между исследователями заключалась в вопросе о времени развития у славян земледелия как основной формы народнохозяйственной

деятельности. Такие выдающиеся представители дореволюционной исторической науки, как С. М. Соловьев, В. О. Ключевский и Н. А. Рожков, поддерживали версию о позднем развитии земледелия у восточных славян. В 1911 г. немецкий историк Пейскер также выступил в защиту теории позднего развития земледелия у славян. Вместе с тем он же пытался обосновать свой тезис, что развитие земледелия и сельскохозяйственной техники у славян происходило под непосредственным влиянием германцев. Эта тенденциозная точка зрения подверглась всесторонней критике со стороны М. С. Грушевского.

Вопрос об экономическом быте восточных славян требовал всестороннего рассмотрения, так как степенью экономического развития восточных славян определялся их общественный строй. Замечательные открытия советских археологов давали новый материал для обоснования мнения о раннем развитии земледелия у восточных славян. Уже дореволюционные археологи В. Хвойко, В. Б. Антонович, Д. Я. Самоквасов показали наличие высокой земледельческой культуры на территории среднего Приднепровья. Б. А. Рыбаков, исследуя антские городища, отмечает высокую сельскохозяйственную культуру антов, поселения которых находились в бассейне Днепра, Десны и Роси [16]. Данные археологии позволяют говорить о распространении у антов плужного земледелия. Произведенные П. Н. Третьяковым археологические раскопки поселений в Верхнем Поволжье показали всеобщее распространение земледелия, а также и изменения характера его [17]. Рыбаков, исследуя курганы радимичей, приходит к выводу, что земледелие было основным занятием радимичей [18].

А. Н. Лявданский считает, что в VI веке соха с железным наконечником в Смоленщине уже была известна [19]. Таким образом, данные археологии разрушили представление об экономической отсталости даже северных районов, хотя, конечно, техника сельского хозяйства была неодинаковой в северных и южных районах. Б. Д. Греков в своем труде «Киевская Русь» уделил много внимания вопросу о сельском хозяйстве в древней Руси. Широко используя археологический материал, древнейшие юридические памятники, свидетельства письменных источников, данные лингвистики, былинный эпос и основы религиозных верований славян, он пришел к выводу, что земледелие получило всеобщее распространение у восточных славян. Даже в северных районах (VII—IX века),

по данным раскопок П. Н. Третьякова, земледелие господствовало в этом районе безраздельно. Досошное земледелие, так называемые «подсеки», постепенно сменяется сошным, пашенным. Раскопки П. И. Равдоникаса на границе новгородских владений с Карелией также свидетельствуют о господствующей роли земледелия. Б. Д. Греков присоединяется к общему выводу М. И. Артамонова о том, что, «вопреки распространенному среди некоторых историков мнению, у славянских и финских племен Восточной Европы еще задолго до возникновения Русского государства земледелие было важнейшим видом хозяйственной деятельности» [14, стр. 30]. Развитие пашенного земледелия в среднем Приднепровье относится еще к скифской эпохе. Греков справедливо утверждает, что «данные языка говорят о том же: уже в глубокой древности в славянском языке имеются термины, свидетельствующие о том, что славяне прекрасно знакомы с хлебными злаками, огородными овощами и сельскохозяйственными орудиями производства» [14, стр. 31]. «Археологические и лингвистические данные вполне согласуются со сведениями древнейшей «Правды Русской», — говорит там же Греков и справедливо замечает, что и былинный эпос свидетельствует о господстве сельскохозяйственной культуры. «Известные нам факты относительно дохристианской религии славян говорят о земледельческом культе по преимуществу» [14, стр. 33]. В своих выводах Греков опирается на свидетельства византийских писателей, арабских и еврейских путешественников. Так, еще византийский писатель VI века Маврикий Стратег сообщает положительные данные о развитии земледелия у славян. О том же свидетельствуют еврейские путешественники X века Ибн-Якуб и Ибн-Русте (первая половина X века). Последний замечает, что земледельческие продукты составляют главную пищу славян [14, стр. 33]. Таким образом, исследование Б. Д. Грекова, основанное на всестороннем, комбинированном изучении всех доступных источников, окончательно выясняет, какова была хозяйственная основа жизни древнеславянского общества.

III

Экономическими условиями жизни восточных славян определяется их общественный строй, о котором в дореволюционной историографии было высказано немало противоречивых суждений. Основной методо-

логической ошибкой дореволюционных историков было то, что они исследовали проблему общественного строя древних славян изолированно от вопроса об экономическом быте. Так, С. М. Соловьев выступал сторонником родового строя у славян даже в X—XI веках. Славянофильский историк К. Аксаков, возражая Соловьеву и Кавелину, считал, что родовой строй у восточных славян был уже давно пройденным этапом в их общественном развитии. В. О. Ключевский, в свою очередь, выступал защитником общинного строя, отмечая, что родовые связи распались в процессе колонизации и заменились общинными отношениями. Ф. И. Леонтович пытался примирить теорию родового строя с общинной, создав теорию задружно-общинного быта восточных славян.

Спор об общественном строе древних славян возобновился в 80-х годах прошлого столетия, когда Фюстель де-Куланж выступил с теорией исконности института частной земельной собственности в противовес общинной теории Маурера. Известный историк-юрист В. И. Сергиевич, будучи сторонником теории де-Куланжа, со свойственной ему решительностью выдвинул тезис «об исконности частной собственности на землю и о полном отсутствии следов общинного владения землею в русской древности». Впрочем, теория Сергиевича не была поддержана специалистами. М. К. Любавский, который в своих лекциях по древней русской истории дал обзор всех теорий об общественном быте восточных славян, даже не упоминает о ней. Сам же Любавский полагает, что в общественном быту восточного славянства сохранились черты родового, общинного и задружно-общинного быта, пытаясь, таким образом, примирить все мнения, высказанные виднейшими представителями исторической науки. Не было единства во взглядах и в чешской и польской историографии. Видный чешский историк Иосиф Шуста утверждал вслед за де-Куланжэм, что древнейшей формой общественной жизни является семья и индивидуальное землевладение. На той же точке зрения стоял виднейший чешский историк права К. Кадлец, также утверждавший, что род — это союз семей и задруг, основанных на кровном родстве. Кадлец не отрицает наличия рода в древнейшем быту славян, однако считает, что род — общественная организация вторичная, а не первичная. Против этих научных утверждений выступил А. Н. Ясинский, противопоставивший им теорию родового коллективного землевладения. Если польский историк Ф. Пекосинский полагал, что индивидуальная частная собствен-

ность и семья являются основой древнейшего быта польских славян, то М. Бобжинский, Ст. Кутшеба и О. Бальцер выступали сторонниками родового строя как древнейшей формы общественного строя польских славян. М. К. Любавский также полагал, что родовой строй в глубокой древности определял общественные отношения западных славян. На заре их истории уже господствовали общинные отношения и начали формироваться общественные классы.

Таким образом, состояние историографии вопроса требовало пересмотра всего вопроса на основе марксистско-ленинской методологии. Б. Д. Греков выполнил эту задачу в отношении восточных славян; Н. С. Державин исследовал общественный строй у западных и южных славян; тщательно анализируя ранние письменные источники византийского происхождения, Греков пришел к выводу, что «говорить о незыблемости родового строя у славян и антов этой поры не приходится» [13 и 14, стр. 54—58]. Для общественного строя славян и антов периода вторжения славян на Балканский полуостров, по мнению Грекова, характерна община. Выступая сторонником общинного строя восточных славян как древнейшей формы их общественного быта, Греков, основываясь на всестороннем анализе письменных источников и в особенности «Правды Русской», справедливо замечает, что «Правда Русская» содержит материал, убеждающий нас в том, что вервь в известный момент своего существования есть не что иное, как «община-марка» [14, стр. 59], не соглашаясь с принятым С. В. Юшковым толкованием термина «вервь» как большой семьи [стр. 61]. «Наблюдения П. Н. Третьякова, — говорит Греков, — служат ему исходным пунктом для пересмотра вопроса о понимании летописного термина «племя» и основанием для вывода, что известные летописи «племена» являлись социальными организациями, вступившими на путь превращения из организации родовой в организацию феодального характера; иначе говоря, автор на своем археологическом материале подтверждает положение В. О. Ключевского» [стр. 57].

Таким образом, вопрос об общественном строе у восточных славян получил окончательное разрешение именно потому, что Б. Д. Греков в своей энергичной борьбе «за общину» исходил из положений Энгельса, высказанных им в труде «Происхождение семьи, частной собственности и государства», который, по справедливому суждению Б. Д. Грекова,

представляет «ключ к разрешению проблем, до него остававшихся неразрешенными» [стр. 54]. Греков мимоходом высказал мнение, что польская община напоминает собой «общину-марку» «Правды Русской», и этим он указал, в каком направлении развивался общественный строй у польских славян.

Объектом исследовательского внимания Н. С. Державина был общественный строй славян восточных, южных и западных. Державин подверг критическому анализу исследования чешских и польских ученых, подходивших «к этому вопросу чисто формалистически» [9, стр. 72], и выделил из польских историков лишь О. Бальцера, который признавал родовую организацию первичной для Польши и этим отрицал мнение Ф. Пекосинского, считавшего «первичным типом поселения для Польши поселение индивидуальное» [9, стр. 85]. Державин также полагает, что первичной общественной ячейкой является род, который в процессе своего разложения перерастает в сельскую общину. Таким образом, Б. Д. Греков и Н. С. Державин, исходя из одних и тех же теоретических марксистско-ленинских позиций, установили одинаковую закономерность в развитии общественного строя как восточных, так и западных и южных славян. Они показали, что теория индивидуального поселения и исконного существования частной собственности на землю — миф, созданный реакционным направлением в буржуазной историографии.

IV

Четвертая проблема, которую исследовали советские историки-слависты, была проблема образования государств славянских народов. Пересмотр этой проблемы был необходим, так как дореволюционная историография неправильно объясняла проблему происхождения государства, полагая, что государства возникали в результате завоеваний извне. Между тем, государство не является общественной организацией, навязанной извне. Оно — следствие внутреннего развития, процесса производительных сил и формирования классового общества для защиты интересов господствующего класса. С этих марксистских, научно-объективных, теоретических позиций следует пересматривать проблему образования государства.

В русской дореволюционной историографии долгое время господствовала так называемая норманская теория. Некогда она пользовалась вниманием и советских историков. В XIX и начале XX века норманскую теорию поддерживали Н. М. Карамзин, Ф. А. Браун, М. Н. Покровский, А. А. Шахматов, датский ученый Томсен, шведский ученый Арне. Норманская теория наиболее ярко была выражена шведом Арне. Под ее влиянием находились А. А. Шахматов, А. Е. Пресняков и М. Н. Покровский. Считая, что государство возникает в результате завоевания, норманисты объявили норманнов-завоевателей основателями Русского государства. Среди норманистов возникло умеренное течение, представленное С. М. Соловьевым, В. О. Ключевским, М. М. Богословским и М. К. Любавским, которые придавали норманнам второстепенное значение в возникновении Киевского государства. К тому же норманны быстро растворились в славянской среде. Ю. В. Готье, с своей стороны, подверг глубокой критике теорию Арне и внес в нее немало ограничений, основываясь на том же археологическом материале, которым пользовался Арне [20].

Норманская теория, естественно, вызвала отпор со стороны ряда таких ученых, как М. В. Ломоносов, И. Е. Забелин, С. А. Гедеонов, Д. Я. Самоквасов, Д. И. Багалей и Д. И. Иловайский. Однако в методологическом отношении они стояли на тех же позициях, что и норманисты, считая, что основателями государства были пришельцы — славяне. Только Иловайский объяснял возникновение Русского государства самостоятельным внутренним развитием Руси.

Во всяком случае антинорманисты и умеренные норманисты расшатали стройное здание, построенное немецкой и русской историографией, и подготовили путь к правильному пониманию вопроса об образовании Русского государства. Отголоски норманской теории можно было встретить и в работах отдельных советских историков.

Таким образом, перед советской исторической наукой стояла задача дать марксистское научно-объективное объяснение процесса возникновения первого Русского государства. Марксистско-ленинская концепция образования государства восточных славян была разработана Б. Д. Грековым. Эта концепция изложена в статье «Образование Русского государства», помещенной в настоящем сборнике.

В польской историографии К. Шайнохой была также предпринята попытка объяснить образование Польского государства при содействии варягов, хотя для этого не было ни прямых, ни косвенных данных, и поэтому естественно, что мнение Шайнохи не было поддержано в историографии. Правда, Ф. Пекосинский вновь пытался возродить теорию о завоевании польских славян пришельцами из-за моря, но и эта теория подверглась резкой критике со стороны Ст. Смолки и М. Бобжинского. О. Бальцер и Ст. Кутшеба, продолжая традицию Бобжинского и Смолки, объясняли происхождение Польского государства на основе местных условий, правда, несколько механистически.

Болгарский историк В. Златарский в образовании Болгарского государства придавал решающее значение вторжению на Балканский полуостров дружины Аспаруха. В чешской историографии вопрос об образовании Чешского государства даже не был поставлен. Равным образом и в сербской историографии проблема возникновения Сербского государства объясняется благоприятными внешними обстоятельствами.

Проблема образования первого Болгарского государства была исследована Н. С. Державиным. Он справедливо отводит аспаруховой дружине второстепенное место в образовании Болгарского государства. Еще до появления аспаруховой дружины на Балканском полуострове в восточной его части создавались местные политико-территориальные объединения. В этом отношении роль аспаруховой дружины политически была ничтожной. Можно только усомниться в утверждении Державина, будто аспарухова дружина еще до вторжения ославянилась и имела в своем составе славянский элемент. Для такого вывода мы не располагаем никакими данными [21]. Ведь «салтово-малцкая» культура поразительно сходна с древностями Дунайской Болгарии того времени, когда тюрки-болгары не успели еще раствориться в славянской среде.

Проблема образования Сербского государства была исследована академиком Ю. В. Готье, Чешского — академиком З. Р. Неедлы, Польского — академиком В. И. Пичетой [22]. Таким образом, проблема образования славянских государств в трудах современных историков получила свое новое обоснование на основе марксистско-ленинского учения об обществе, т. е. исторического материализма.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И. В. Сталин.* Марксизм и национально-колониальный вопрос. 1935, стр. 4.
2. *Н. Я. Марр.* Избранные сочинения, т. I, стр. 131.
3. *А. Д. Удальцов.* Начальный период восточнославянского этногенеза. Истор. журн., 1943, № 11—12.
4. *А. Д. Удальцов.* Теоретические основы этногенетических исследований. Изв. АН СССР, Серия ист. и филос., 1945, № 6.
5. *А. Д. Удальцов.* Происхождение славян. М., 1937.
6. *А. Д. Удальцов.* Теоретические основы этногенетических исследований. Изв. АН СССР, Серия ист. и филос., 1945, № 6.
7. *Н. С. Державин.* Об этногенезисе древних народов Днепро-Дунайского бассейна. Вестн. др. ист., 1939.
8. *Н. С. Державин.* Происхождение русского народа — великорусского, украинского и белорусского. М., 1944.
9. *Н. С. Державин.* Славяне в древности. М., 1946.
10. *Т. П. Пассек.* К вопросу о древнейшем населении Днепро-Днестровского бассейна. Сов. этногр., вып. VI, 1947.
11. *М. А. Тиханова.* Роль западного Причерноморья в сложении культур Поднестровья и Приднепровья первых веков нашей эры. Кр. сообщ. о докл. и полев. исслед. ИИМК, т. VIII, 1940.
12. *М. И. Артамонов.* Спорные вопросы древнейшей истории славян Руси. Кр. сообщ. о докл. и полев. исслед. ИИМК, вып. VI, 1940.
13. *Б. Д. Греков.* Борьба Руси за создание своего государства, М., 1945.
14. *Б. Д. Греков.* Киевская Русь, изд. 4, М., 1944.
15. *В. И. Пичета.* Рецензия на книгу Н. С. Державина. Вопросы истории, вып. V, 1945.
16. *Б. А. Рыбаков.* Анты и Киевская Русь. Вестн. др. ист., 1939, № 1.
17. *П. Н. Третьяков.* К истории племен Верхнего Поволжья в первом тысячелетии их. Мат. и исслед. по археол. СССР, № 5. 1941.
18. *Б. А. Рыбаков.* Радзімічы. Працы секцыи археологіі, т. III.
19. *А. Н. Лявданский.* Некоторые данные о городищах Смоленской губ. Научн. изв. Смол. ун-та, т. III, вып. 3. Смоленск, 1927.
20. *Ю. В. Готье.* Железный век в Восточной Европе. М.— Л., 1930, гл. IV.
21. *Н. С. Державин.* История Болгарии, ч. V, М.— Л., 1945, стр. 145—196.
22. Славянский сборник, № 1. М., 1947.

Академик
Е. А. Косминский

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОРИИ КРЕСТЬЯНСТВА И АГРАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ В АНГЛИИ



За истекшие тридцать лет наша историческая наука достигла больших успехов. Мы вправе с гордостью оглянуться на пройденный путь. За это время мы заложили прочный фундамент для развития советской передовой исторической науки, методы и достижения которой все больше и больше влияют на прогрессивную науку всего человечества.

Своими достижениями мы больше всего обязаны направляющему работу всех советских историков научному методу марксизма-ленинизма; важнейшим моментом, способствующим расцвету исторической науки в СССР, является также плановость научно-исследовательской работы, главным объединяющим центром которой служит Институт истории Академии Наук СССР. Но мы не должны забывать и о значении той славной традиции, которую завещала советским историкам русская историческая наука прошлого времени. Наши учителя и предшественники подняли русскую историческую науку на большую высоту, выступая в ряде случаев и как учителя Запада. Это относится не только к таким областям исторической науки, как история России, славян или Византии, но и к некоторым отделам истории Запада.

Русская историческая наука, всегда теснейшим образом связанная с русской действительностью, проявляла особый интерес к аграрной истории, особенно к истории крестьянства. Судьбы крестьянства, представлявшего основную часть населения огромной, аграрной в прошлом страны,

крепостное право и его ликвидация, крестьянская община, вопрос о живучести ее и способности к дальнейшему развитию, разложение общинного строя под влиянием капиталистического перерождения деревни — таковы были основные проблемы, волновавшие русское общество и русскую науку с середины XIX века, когда в России начался расцвет науки «всеобщей истории».

Уже первый крупный представитель этой науки в Московском университете, наш замечательный ученый-гуманист Т. Н. Грановский, как это видно из его сохранившихся университетских курсов, главное острие своей научной «пропаганды» (по выражению Герцена) направлял против крепостного права, рисуя тяжкое положение угнетенного западноевропейского крестьянства в средние века, грубость и произвол западноевропейских феодалов. Лучшая из его печатных работ посвящена аграрной теме — вопросу об общине. Статья «О родовом быте древних германцев», напечатанная в 1855 г., представляет мастерской анализ родовой общины, наличие которой автор показывает у германцев, у кельтов, у славян, опровергая тезис славянофилов об общинности как особенности русского народного духа. Интерес к аграрной истории Запада, раньше России прошедшего через стадию разложения феодальных отношений и ликвидации крепостничества, особенно усиливается после крестьянской реформы 60-х годов, в обстановке порожденных ею вопросов и споров.

Исследования тех русских историков, которые посвятили себя изучению истории Запада, дали особенно крупные результаты и оказали наибольшее влияние на мировую науку в двух главных областях. Одной из них является положение французского крестьянства накануне революции 1789 г. М. М. Ковалевский, И. В. Лучицкий, Н. И. Кареев изучили огромный архивный материал и дали ряд важных выводов, по достоинству оцененных французскими исследователями. Едва ли надо разъяснять актуальность этой темы для тогдашней русской действительности. Не менее ценные результаты были получены тем же М. М. Ковалевским и особенно П. Г. Виноградовым и его учениками в области изучения аграрных отношений и истории крестьянства в средневековой Англии. Русских историков, изучавших аграрные отношения, влекла к Англии завершенность в этой стране капиталистического перерождения деревни. Англия, страна классического развития капитализма, дала Марксу и Энгельсу возможность установить законы возникновения и развития

капиталистического способа производства. М. М. Ковалевский испытал непосредственное влияние идей Маркса, хотя и воспринял их далеко не полностью. Еще большее влияние оказали труды Маркса (особенно его глава об истории первоначального накопления в Англии в I томе «Капитала») на ученика Виноградова — А. Н. Савина. Другой причиной, привлекавшей внимание русских исследователей аграрных отношений к Англии, было необычайное богатство английских архивов, наличие в них таких документов по аграрной истории средневековья, какими не располагает ни одна из западноевропейских стран.

Книга П. Г. Виноградова «Исследования по социальной истории Англии в средние века» (СПб., 1887), разросшаяся впоследствии в ряд больших томов, выходивших на английском языке («Villainage in England», 1892; «Growth of the Manor», 1905; «English Society in the XI century», 1908), составила эпоху в изучении аграрной истории средневековой Англии. Можно сказать, что Виноградов открыл англичанам аграрную историю их средневековья (как, по словам Мэтланда, он открыл им те неисчислимые сокровища, которые Лондонский публичный архив содержит для изучения этой истории). Если до Виноградова у англичан были в этой области талантливые, однако не приведенные в систему исследования Роджерса и богатая новыми идеями, но парадоксальная книга Сибома (послужившая толчком к «Исследованиям» Виноградова), то Виноградов поставил изучение аграрной истории Англии на вершину тогдашней буржуазной науки, еще переживавшей в то время эпоху своего подъема.

В своих исследованиях Виноградов слил в одно гармоническое целое теории, выработанные прогрессивной мыслью тогдашнего буржуазного Запада: общинную теорию, начинавшую общественное развитие Европы от свободной германской общины; вотчинную теорию, рассматривавшую феодальную вотчину как основную «образующую клеточку» западноевропейского средневекового общества; теорию «натурального хозяйства», проводившую резкое качественное различие между системой хозяйства, рассчитанного на непосредственное удовлетворение потребностей, и системой хозяйства, рассчитанного на обмен. Блестящий анализ юридического и хозяйственного строя английской средневековой вотчины («манора»), сделанный Виноградовым, стал классическим; он на десятилетия определил направление научных исследований и характер общих представлений в этой области. В некоторых отношениях буржуазно

ограниченные, не учитывающие в полной мере значения классовой борьбы в средневековой деревне, порой преувеличивающие самостоятельное значение правовых норм, труды Виноградова дали, однако, лучшую в буржуазной науке обобщенную картину происхождения манора, его развития, его строя в эпоху его наивысшего расцвета (в XIII веке). В течение десятилетий Виноградов, как профессор сначала Московского, а потом Оксфордского университетов, сохранял общепризнанное положение первого авторитета в области социальной истории средневековья.

В своих исследованиях Виноградов редко шел дальше эпохи классического развития манора — дальше XIII в. Основная его тема — живучесть и сохранность старинной свободной общины даже при господстве надстроенной над ней манориальной системы. Но русская историческая наука откликалась на новые проблемы, которые ставились перед ней быстрым разложением русской деревенской общины под влиянием развивающихся капиталистических отношений, и не случайно ученики Виноградова переносят центр своих научных интересов на проблему разложения манориального и общинного строя средних веков. Д. М. Петрушевский в своей известной работе «Восстание Уота Тайлера»,[1] посвященной главным образом аграрной истории Англии в XIV веке, обрисовал начало этого процесса. А. Н. Савин в своих больших книгах «Английская деревня в эпоху Тюдоров» (1903) и «Английская секуляризация» (1908) и в монографиях по истории отдельных маноров изучает крупные сдвиги, которые произошли в английской деревне в XVI и в XVII веках. Оба эти исследователя продолжали начатую Виноградовым работу. Их труды и до настоящего времени являются ценнейшим вкладом в разработку проблем аграрной истории Англии. Труды Савина в значительной своей части вышли в английском переводе и оказали немалое влияние на дальнейшую разработку аграрной истории Англии XVI века.

Работы Виноградова и продолжавшие их исследования Петрушевского и Савина осветили путь аграрного развития Англии от древности (Виноградов начинает свой «Growth of the Manor» с кельтской и римской эпох) и до XVII века. Хотя проблемами аграрной истории Англии этой эпохи занимались выдающиеся ученые Англии и Америки, отчасти

[1] Первое издание: I т. — СПб., 1897; II т.— М., 1901; второе издание в одном томе, М., 1914; третье издание, М. — Л., 1927; четвертое издание, М., 1937.

Германии и Франции, труды русских ученых — Виноградова, Петрушевского, Савина занимают почетное место в историографии вопроса и имеют все права считаться классическим наследием в разработке аграрной истории Англии.

Великая Октябрьская социалистическая революция поставила перед исторической наукой задачу пересмотра всех основных проблем истории с точки зрения новой, высшей стадии в развитии человечества, с позиций учения Маркса, Энгельса, Ленина, Сталина. Проблемы истории крестьянства приобрели новую актуальность в первом в истории государстве рабочих и крестьян. История Англии, давшая Марксу и Энгельсу материал для установления законов развития как капиталистических, так и докапиталистических обществ, особенно привлекла внимание советских исследователей-марксистов. Школы Виноградова и особенно Петрушевского и Савина подготовили исследователей, которые могли продолжать дело своих учителей, поставив его на другую, более высокую методологическую основу — исторический материализм.

Новое поколение историков приступило к разрешению своих задач не только с новых методологических позиций. Оно понимало, что подлинно научный пересмотр возникших перед ним вопросов потребует и новых источников, и нового методического подхода к их изучению. В частности, статистический метод, мало применявшийся Виноградовым и Петрушевским, но широко использованный Савиным, стал теперь играть определяющую роль в работах советских специалистов по аграрной истории Англии. Советские историки подвергли разработке очень широкий круг проблем; изучавшийся ими период хронологически охватывает время от XI до XIX века. Результаты их исследований заставили поставить ряд вопросов по-новому и уже оказали определенное влияние на мировую науку.

Вопросу об аграрном строе Англии в «классическую» пору средневековья, в пору наивысшего развития феодальной вотчины — в XIII веке, посвящены работы автора этой статьи.[1] Здесь нам пришлось заняться проблемами, над которыми работали такие ученые, как Сибом, Мэтланд, и вступить в область, где господствовали исторические построения, данные Виноградовым. Но к этому времени концепции Виноградова уже не могли

[1] Главные работы: «Английская деревня в XIII веке», М. — Л., 1935; «Исследования по аграрной истории Англии в XIII веке», М., 1947.

считаться общепризнанными и в буржуазной науке. И общинная, и вотчинная теория, и теория натурального хозяйства, синтез которых лежит в основе построений Виноградова, подверглись весьма активным нападениям в результате как специальных исследований, так и новых общих концепций буржуазной исторической науки. Пересмотр этих теорий начался не в Англии, а в Германии и во Франции; но уже в середине 90-х годов скептический Мэтланд высказал сомнение в том, насколько возможны обобщения относительно английского средневекового манора при современном состоянии науки. Он призывал к разработке специальных тем, к локальным исследованиям, и сам дал образец такого рода исследований в виде истории манора Уильбертона. Дальнейшие локальные исследования только усилили этот скептицизм. Они показали значительную сложность и пестроту вотчинной структуры в средневековой Англии, наличие многочисленных явлений, не укладывающихся в классическую характеристику манора; они показали тесную связь манориального хозяйства с рынком, значительную дифференциацию крестьянства, большую роль денежной ренты, наличие наемного труда, локальное разнообразие аграрных отношений. Это порой вело к агностицизму, к принципиальному отказу от широких обобщений. Известные течения в буржуазной исторической науке, особенно немецкой, открыли систематический поход против «господствующей теории», в которой они усматривали влияние либеральных и даже «социалистических» идей. Реакционная буржуазная наука, прикрываясь тенденциозным толкованием источников и локальных наблюдений, стремилась лишить феодальное производство его отличительных черт, уничтожить грани между перисдами социальной истории, объявить «натуральное» и «денежное» хозяйство всегда сосуществующими, а не сменяющими друг друга категориями и провозгласить «капитализм» (в очень расплывчатом понимании) исконным и вечным явлением. Автору пришлось, учитывая все действительные достижения специальных исследований, подвергнуть критике как «классическую теорию» либеральной буржуазной науки, так и те агностические предостережения и нередко искусно прикрытые реакционные выводы, которые преподносила буржуазная наука современного Запада.

В основу своего пересмотра автор положил источники, допускающие массовые подсчеты и освобождающие исследователя от опасности одностороннего отбора материала. Таким источником для Англии XIII века является большая правительственная земельная перепись 1279 г. — так

называемые «Сотенные Свитки». Эта перепись сохранилась в большом фрагменте, охватывающем значительную часть средней Англии. Другим источником были «Посмертные расследования», позволившие распространить некоторые из сделанных автором наблюдений почти на всю территорию Англии. Отказавшись от формальной точки зрения, при которой анализ аграрного строя сосредоточивался на «маноре», вотчине определенного (барщинно-крепостного) типа, автор в своем анализе исходил из установленного марксизмом-ленинизмом понятия о феодальном типе производственных отношений, о феодальной ренте и ее формах, о внеэкономическом принуждении как основном признаке феодального способа производства. При таком подходе разнообразие вотчинной структуры, обнаруживаемое не только в различных районах Англии, но и в пределах одного и того же района, ни в какой мере не пошатнуло основного положения о господстве в Англии XIII века феодального типа производственных отношений. Вотчина могла далеко отступать от установленного классической теорией типа, не переставая быть феодальной вотчиной, организацией для выжимания из крестьянства феодальной ренты (в любой из трех ее форм) на основе внеэкономического принуждения, которое, как показал Маркс, может принимать различные формы — от крепостной зависимости до простой обязанности уплачивать оброк. В этом отношении Англия не отличается от других стран феодальной Европы. Но для Англии характерны известные особенности феодального способа производства. Такими особенностями являются прежде всего многочисленные пережитки дофеодальных отношений, в частности наличие очень значительной прослойки свободного крестьянства, местами численно преобладавшего над несвободным. Свободное крестьянство было обязано нести феодальную ренту, но, как правило, в более легких размерах по сравнению с вилланами, и обычно в денежной форме. Свободное крестьянство феодальной эпохи составилось отчасти в результате неполной феодализации английской деревни, как пережиток дофеодальных отношений, отчасти же вследствие раннего разложения феодализма, начавшегося освобождения крепостных — вилланов. Для английского средневековья характерны как неполное и чрезвычайно неравномерное развитие феодализма, так и раннее его разложение, вызванное ранним проникновением в деревню товарно-денежных отношений. При этом феодальные отношения легче всего и раньше всего распадаются там, где они меньше всего укре-

пились; разложение феодализма смыкается с остатками дофеодальных отношений. Анализ «Сотенных Свитков» и «Посмертных расследований» убедил автора в том, что уже во второй половине XIII века господствующей формой феодальной ренты в Англии была денежная рента. Представляя еще по существу феодальную ренту, денежная рента, как выяснил Маркс, была уже формой разложения феодальной ренты, почвой, на которой начинают складываться капиталистические отношения. В Англии, которая рано стала поставщиком промышленного сырья (шерсти) для передовых стран Западной Европы, рано складываются предпосылки капиталистического перерождения деревни.

Автор показал, что развитие и разложение феодальных отношений шло неодинаковым путем в вотчинах разного типа. Не говоря уже о том, что этот процесс шел по-разному в районах преобладания земледелия и скотоводства (по преимуществу овцеводства), он неодинаково складывался в крупных и мелких вотчинах. В то время как крупная вотчина, характерная для владений больших церковных и светских «баронов», развивается, в основном, в направлении укрепления крепостнически-барщинного типического «манориального» строя, мелкая вотчина, характерная для мелких и средних феодалов, для «рыцарства», в гораздо меньшей степени связана с крепостничеством и барщинной системой. Вообще феодальная рента играет в ней меньшую роль, чем в крупной вотчине, зато в ней больше развито самостоятельное господское хозяйство; для мелкой вотчины характерно преобладание мелких держателей, платящих незначительную ренту, но зато эксплоатируемых в качестве «наемных рабочих». Мелкая вотчина, меньше связанная с феодальным способом эксплоатации, с «манориальным обычаем», более, чем крупная, нуждающаяся в связях с рынком, была легче доступна капиталистическому перерождению. Мелкий вотчинник, «рыцарь», предок будущего джентри, представлял элемент буржуазного брожения в феодальной Англии XIII века. Уже тогда начинает намечаться то деление английского дворянства, которому суждено было сыграть такую определяющую роль в дальнейшем социальном развитии страны, и в частности определить специфику английской буржуазной революции — деление на «старое» и «новое» дворянство.

Крупные феодальные вотчины крепостнически-барщинного типа (этот тип вотчин по преимуществу изучался предшествовавшими исследователями и дал материал для обобщений Виноградова) составляли основной

массив английского феодального общества. Этот массив, в основном, сложился уже в XI веке и мало изменился до конца XIII века, развиваясь в направлении усиления феодальной эксплоатации. Но вокруг этого малоподвижного массива волнуется изменчивая среда мелких вотчин, для которых характерны отчасти неполная феодализация, отчасти раннее разложение феодальных отношений. Вместе с значительной прослойкой свободных держаний, где также смыкались элементы дофеодальные с элементами разложения феодализма, эта среда характеризуется быстрой мобилизацией земельной собственности, быстрым распадением неокрепших феодальных отношений, зарождением новых форм эксплоатации.

Между свободным крестьянским держанием и мелкой феодальной вотчиной не создалось определенной грани. Крупные крестьянские владения непрерывно перерастают в дворянские вотчины. Дворянство не стало в Англии замкнутым сословием, оно постоянно пополняется из среды зажиточного крестьянства, а также приобретающей землю городской буржуазии.

Анализ состава английского крестьянства в XIII веке показывает его значительное расслоение. Помимо деления на крепостных и свободных крестьян имела место значительная имущественная дифференциация. Особенно значительна была дифференциация в среде свободных крестьян, но и среди вилланов отмечается очень значительный процент малоземельных. Хотя известная часть малоземельных могла заниматься неземледельческим трудом, но не подлежит сомнению, что бо́льшая их часть принуждена была наниматься на работу к вотчинникам и крупным крестьянам. С этим надо сопоставить недостаточную обеспеченность домениального хозяйства принудительным трудом крепостных крестьян-вилланов. Особенно это относится к мелким вотчинам, где барщинная система была мало развита. Наемный труд играл в хозяйстве феодальной Англии значительно бо́льшую роль, чем это было принято думать. «Наемный рабочий» феодальной эпохи значительно отличался от наемного рабочего эпохи капитализма. Он был связан с землей, нередко был лично несвободен, уплачивал феодальную ренту сеньеру, нередко его «наемный труд» был в той или иной мере принудительным, его «заработная плата» мало отличалась от того содержания и вознаграждения, которое получали несвободные дворовые слуги. Но во всяком случае широкое применение труда малоземельных крестьян к обработке господской земли облегчало переход к капиталисти-

ческим методам эксплоатации, к наемному труду в точном смысле слова.

Если часть крестьянства превращалась в малоземельных «коттеров», то зато отслаивалась верхушка, скупавшая и арендовавшая земли, стремившаяся извлекать выгоды из торговли шерстью, хлебом и другими сельскохозяйственными продуктами. Зажиточный и отчасти средний крестьянин все больше превращается в товаропроизводителя и все больше тяготится путами, которые накладывались на его хозяйственную деятельность всей системой феодальной эксплоатации. С другой стороны, развитие товарно-денежных отношений вызывает стремление феодалов к увеличению своих доходов, к усилению эксплоатации крестьян, к росту феодальной ренты, к захвату общинных земель. Классовая борьба в деревне усиливается и обостряется. Судебные протоколы XIII века пестрят указаниями на сопротивление крестьян попыткам феодалов увеличить феодальную ренту или захватить общинные земли. Крестьяне при этом нередко выступают большими группами, с оружием в руках. Атмосфера крестьянского восстания начинает чувствоваться в Англии уже в конце XIII века.

Дальнейшее развитие английской деревни шло в сторону разложения феодального способа производства. Но путь этого разложения сложен и не укладывается в простую линейную схему. Крупная феодальная вотчина, основанная на крепостничестве и барщине, переживает сильнейший кризис в XIV веке. Этот кризис, намечавшийся уже в XIII веке, проистекает из неразрешимого противоречия между стремлением крупного лорда повысить свои доходы феодальным, внеэкономическим путем, путем усиления феодального давления на крестьянина, с одной стороны, и постепенным превращением крестьянина в товаропроизводителя — с другой. Это противоречие приводит в конце концов к антифеодальному крестьянскому восстанию 1381 г. (в котором крупную роль сыграло также малоземельное крестьянство, превращавшееся в наемных рабочих) и, в последнем счете, к крушению крепостнически-барщинной системы. Такие моменты, как пресловутая «Черная Смерть» со всеми ее последствиями, сыграли здесь лишь осложняющую роль: самое направление исторического развития деревни определилось уже в XIII веке. Во второй половине XIV и в XV веке господское хозяйство крупной феодальной вотчины ликвидируется, господская земля переходит в руки крестьян, особенно крестьянской

верхушки, феодальная рента фиксируется на низком уровне. Крестьянская верхушка является теперь главным носителем буржуазного перерождения деревни. Иным был исторический путь мелкой вотчины, издавна развивавшейся в направлении к капиталистической эксплоатации и не переживавшей поэтому такого острого кризиса. Здесь идет лишь постепенное усиление системы наемного труда. Мелкий лендлорд и крестьянин-кулак (эти группы стоят очень близко одна к другой, отчасти сливаясь) подготовляют ту «аграрную революцию», которая приходится на XVI век. Крупные же феодалы, отброшенные от рычага внеэкономического принуждения в деревне, вынуждены искать новые источники дохода в хищнической эксплоатации государственных ресурсов, в войне и грабеже. Борьба между новой, прогрессивной, буржуазной и старой, разлагающейся, феодальной Англией нашла выражение в восстании Джека Кэда и в войне Алой и Белой Роз.

При изучении аграрного строя XIII века автору приходилось нередко ставить вопрос о генезисе того или иного явления и с этой целью обращаться к памятникам предшествующих столетий и прежде всего к «Книге Страшного Суда». Сопоставление «Сотенных Свитков» 1279 г. с этим знаменитым памятником XI века бросает яркий свет на развитие феодальных отношений в Англии в течение двухсот лет; такого рода сопоставление особенно важно потому, что источники по аграрной истории для XII века довольно скудны. Этой темой специально занялся ученик автора М. А. Барг. В своем исследовании он сопоставил данные «Сотенных Свитков» 1279 г. с «Книгой Страшного Суда» и с другим источником XI века «Inquisitio Comitatus Cantabrigiensis» — для графства Кембриджшир. Путем точных статистических вычислений ему удалось выяснить перемещения земельной собственности, имевшие место в течение 200 лет: почти полное исчезновение «terra regis»—королевских вотчин, значительный рост церковного землевладения, рост мелкого «рыцарского» владения за счет крупного «баронского». Он показал дробление крупной вотчины, рост числа мелких вотчин, значительное усиление крестьянского малоземелья. Ему удалось объяснить значение некоторых, до тех пор неясных терминов «Книги Страшного Суда», обозначающих различные группы в среде крестьянства, и определить судьбу этих групп до конца XIII века. Аналогичная работа для графства Бедфордшир была проделана Т. Г. Песоцкой.

Ф. Я. Полянский использовал материал описей крупных церковных вотчин в Англии XIII века для выяснения ряда основных теоретических проблем феодального способа производства. Им особенно подчеркнута натурально-хозяйственная природа производства и воспроизводства в феодальной вотчине.

Проблемами аграрного строя Англии в XIII веке занимались также И. С. Звавич и С. А. Токарев. И. С. Звавичем был поставлен один из важнейших вопросов, касавшихся положения крепостного крестьянства в средневековой Англии, — вопрос о том, насколько манориальная курия и манориальный обычай охраняли личные и имущественные права крестьян-вилланов от произвола лорда и манориальной администрации. В своей статье «Классовая природа манориальной юстиции»[1] он опровергает распространенный взгляд, будто бы манориальная курия вполне сохраняла права крестьянина на его земельный надел и гарантировала его от произвольного увеличения лордом его ренты. Он показал, что манориальный обычай складывался под давлением «воли лорда» (voluntas domini), имел в виду охрану его интересов, и что лорд был, в сущности, «продавцом товара, который назывался манориальной юстицией». Исследование Звавича, основанное на изучении большого материала протоколов манориальных курий, подтвердило наблюдение А. Н. Савина, что манориальный обычай, сложившийся в эпоху господства «воинственного и правящего меньшинства», не мог стать охраной прав крестьян и не стал ею.

Работа С. А. Токарева «Торговля английского манора в XIII и первой половине XIV века»[2] основана на материале приказчичьих отчетов (Ministers'Accounts) маноров епископства Винчестерского. Автор показал значительное развитие товарного сельского хозяйства в этих манорах уже в начале XIII века и рост товарности в течение XIII и начала XIV века. Для рынка производится не только шерсть, но и зерновые продукты, особенно пшеница. Исследование показало значительную способность приспособления феодальной вотчины к рыночным отношениям. Одним лишь развитием товарно-денежного хозяйства, без учета классовой борьбы и растущего сопротивления крестьянства и, наконец, крестьянских восстаний, невозможно объяснить кризис феодальной вотчины в XIV веке.

---

[1] Ученые записки Института истории РАНИОН, т. III.

[2] Там же, т. VII.

XVI век является поворотной эпохой в аграрной истории Англии, веком «аграрной революции». Гениальный очерк аграрного развития Англии в эту эпоху был дан Марксом в 24-й главе I тома «Капитала» в связи с вопросом о «первоначальном накоплении».

Аграрной истории XVI века посвятил свои главные труды А. Н. Савин, которому удалось, впрочем, осветить лишь некоторые ее проблемы. В XX веке буржуазная наука обнаруживает тенденцию преуменьшать размах и значение аграрных перемен XVI века, оспаривать их революционный характер для английской деревни, отрицать их насильственность, сводить к минимуму бедствия лишавшегося земли крестьянства, видеть в аграрных сдвигах XVI века лишь чисто экономические факторы. Отворачиваясь от единодушных показаний публицистики и законодательных актов той эпохи, констатировавших и широкий размах и глубину происходивших социальных перемен, буржуазные исследователи подсчитывали данные заведомо неполных правительственных расследований об огораживаниях и получали незначительные цифры для огороженных земель и разоренных крестьянских хозяйств. Они игнорировали мощные крестьянские движения, сотрясавшие Англию в XVI веке, или затушевывали в них социальные мотивы. Пересмотром этих проблем занялся В. Ф. Семенов. В своей докторской диссертации «Огораживания и крестьянские движения в Англии XVI века»[1] он выяснил, насколько неадэкватно аграрные перемены XVI века отразились в правительственных расследованиях, значительно преуменьшавших их размах, и как данные этих расследований были тенденциозно истолкованы буржуазными учеными с целью еще большего снижения количественных показателей переворота. Он обнаружил и быстрый темп аграрных перемен, и их насильственный характер, и глубину тех изменений, которые происходили в это время в аграрном строе Англии. В частности, он показал значительность обезземеления крестьянства в XVI веке и общее ухудшение положения крестьянской массы и сельскохозяйственных рабочих. Им выдвинут на первый план вопрос о крестьянских восстаниях в XVI веке, об их целях и их программах. Они поставлены в связь с крестьянскими движениями континента Европы, в частности с Великой крестьянской войной в Германии, знаменитые 12 тезисов

[1] Подготовлена к печати. Напечатаны две статьи: «Восстание Роберта Кета в 1549 г.» (1935) и «Восстание Кета Норфокского и огораживания» (1946).

которой они повторяют в своих требованиях. В своем исследовании Семенов базируется на классической характеристике, которая была дана Марксом аграрной революции XVI века, и, освещая ряд важных проблем, приводит много новых данных.

Значительный вклад внесен советскими учеными в разработку проблем аграрного развития Англии в XVII веке, который очень мало затрагивался английскими исследователями аграрных отношений. Уже А. Н. Савин в своих небольших монографиях по истории отдельных маноров поставил здесь ряд интересных вопросов; в частности, им был показан интенсивный рост дворянского землевладения за счет крестьянского. Ряд важных вопросов был поднят рано умершим историком-экономистом И. Л. Поповым-Ленским в его содержательной книге «Лильберн и левеллеры» (М.—Л., 1928). Он показал рост ренты в XVII веке, превращение ее из феодальной в капиталистическую, и поставил на очередь вопросы о перемещениях земельной собственности во время английской буржуазной революции, о роли в ней крестьянских движений, о значении аграрного вопроса в программе левеллеров. Ранняя смерть прервала работу И. Л. Попова-Ленского. Ряд поставленных им проблем получил разработку в трудах С. И. Архангельского.[1]

Главной задачей Архангельского было выяснение размеров и характера аграрных перемен, происшедших во время английской буржуазной революции (1640—1660), и прежде всего перемещений земельной собственности. Автор не имел возможности работать в английских архивах, но им был изучен печатный материал, ордонансы и акты, журналы обеих палат парламента, описи конфискованных во время революции земель, документы комитета по композициям, международная литература, переписка. Этот материал позволил ему установить приблизительные размеры перемещения конфискованных земель короны, епископов, капитулов и дворян-роялистов в руки новых владельцев—почти исключительно буржуазии и «нового дворянства». Значительная часть этих перемещений не могла быть подсчитана, так как они происходили нередко путем частных сделок: дворяне-роялисты были принуждены продавать свои земли или часть их

[1] Главный труд «Аграрное законодательство английской революции», т. I, 1935; т. II, 1940; много журнальных статей, главным образом по вопросам крестьянских движений во время английской революции.

под давлением композиций и налоговой политики правительства. Автор показал, что история Англии не знала другого такого огромного перемещения земельной собственности за столь короткий период времени; мобилизация земель во время секуляризации XVI века имела гораздо более скромный характер. Наибольший размах приняло перемещение земельной собственности в Ирландии, отчасти затронуло оно и Шотландию. Переход земельной собственности из рук феодальных групп в руки буржуазии и нового (буржуазного по своему характеру) дворянства был важнейшим шагом в процессе превращения феодальной земельной собственности в буржуазную. Этот переход был юридически оформлен актом 1646 г., отменившим феодальное рыцарское держание и заменившим его свободным сокажем, который, в сущности, прикрывал собою буржуазную собственность. Последняя росла также в результате усиления огораживаний и обезземеления крестьянства. Отменяя феодальные повинности и ограничения для помещиков, буржуазная революция не отменила этих повинностей для крестьян-копигольдеров. Они были сохранены, остались также старая вотчинная («манориальная») организация и вотчинный суд. В ряде случаев копигольдерские ренты были увеличены. Перемещения земельной собственности сопровождались частичным обезземелением копигольдеров и заменой их арендаторами на короткие сроки. Проводившаяся при конфискациях проверка держательских прав приводила к сгону части крестьян с земли. Таким образом, буржуазная революция, помимо передачи значительной части земельной собственности от феодальных собственников буржуазным, содействовала дальнейшему обезземелению крестьянства и переходу от феодальной ренты к капиталистической. Особенно бурно протекал процесс ликвидации старинных феодально-клановых отношений в Ирландии, где насильственным путем насаждается крупная земельная собственность по английскому образцу, а ирландское крестьянское владение заменяется нищенской арендой. Детальный анализ, произведенный С. И. Архангельским, показал тесную связь земельной политики правительства и парламента эпохи революции с финансовыми затруднениями, задолженностью государства у купцов и банкиров Сити, интересы которых в значительной мере определяли направление этой политики.

Исследования Архангельского дали новый блестящий материал, характеризующий английскую революцию 1640—1660 гг. как революцию буржуазную. Как известно, Маркс и Энгельс первые показали все значе-

ние аграрной политики английской революции в процессе превращения феодальной Англии в буржуазную. Впоследствии, до появления исследования Архангельского, этот цикл вопросов почти не затрагивался даже в английской исторической литературе. Ряд статей Архангельского, не вошедших в его главное исследование, посвящен вопросу о роли крестьянства в английской революции, в частности движению «клобменов».

Работы Архангельского внесли много нового в изучение аграрной истории Англии XVII века. Они показали, какую важную роль эта эпоха играет в истории капиталистического перерождения английской деревни. Но все же XVII век остается «темным» веком в аграрной истории Англии. Горы материалов, относящихся к этой эпохе и хранящихся в Лондонском публичном архиве и других архивах Англии, остаются неизданными и неизученными. А. Н. Савин сделал опыт переброски моста от изученной им деревни XVI века к деревне XVIII века через «темный» XVII век посредством монографического исследования истории отдельных маноров. Смерть прервала его работу, но он оставил большой материал в виде выписок, сделанных в Лондонском публичном архиве и позволяющих восстановить историю ряда маноров за время от XVI до XVIII века. Эта работа была проделана учеником Савина — В. М. Лавровским.[1] Автор изучил маноры трех типов: манор, в котором крестьянство хорошо сохранилось в эту эпоху; манор, в котором оно почти исчезло; манор, который занимает среднее место между этими двумя типами. Путем тщательного статистического изучения ренталей, описей и приговоров об огораживании В. М. Лавровскому удалось установить точное соответствие между эволюцией ренты и процессом обезземеления крестьянства: чем успешнее идет замена традиционной феодальной ренты «улучшенной», а потом рентой капиталистической, тем скорее разлагается и исчезает крестьянство как класс. Изучаемый Лавровским материал вполне подтвердил наблюдение Савина о вторжении дворянского землевладения в область крестьянских держателей, фригольда и копигольда. Во вступительной главе своего исследования «А. Н. Савин как историк английского крестьянства» Лавровский показал, какое определяющее влияние на формирование научных интересов и взглядов Савина оказала проблематика 24-й главы I тома «Капитала» Маркса.

[1] «Очерки по истории английского манора XVI—XVII вв.»; подготовлено к печати; отдельные части напечатаны в сборнике «Средние века», вып. II (1946), и в Изв. Академии Наук СССР, сер. ист. и фил., т. III, № 3, 1946.

Последним стадиям великой исторической драмы обезземеления английского крестьянства посвящено исследование В. М. Лавровского «Парламентские огораживания общинных земель в Англии конца XVIII и начала XIX века (1795—1815)», М.—Л., 1940. При изучении этого вопроса В. М. Лавровский привлек материалы, мало использованные предшествующими исследователями, — «Приговоры об огораживаниях» (Inclosure Awards) и списки плательщиков поземельного налога (Land Tax Assessments). В большом числе изучены им и впервые изданы планы, прилагавшиеся к приговорам об огораживаниях, позволяющие наглядно проследить процесс исчезновения крестьянского землевладения. Лавровский пошел в своем исследовании путем выборочного изучения большого статистического материала. Им изучено свыше 50 приговоров об огораживаниях, охватывающих около 100 тысяч акров земли и относящихся к разным районам Англии и к деревням различных типов—с значительной сохранностью крестьянства, с заметными его остатками и, наконец, с незначительными следами этого класса, когда-то составлявшего основу населения Англии. Исследование Лавровского еще раз подтвердило и обогатило новым документальным материалом оспаривавшееся рядом буржуазных ученых положение Маркса, что английское крестьянство как класс перестало существовать уже к середине XVIII века. Несмотря на то, что парламентские огораживания конца XVIII и начала XIX века, естественно, захватывали преимущественно отсталые приходы, где огораживания не были произведены раньше, анализ землевладения в этих приходах рисует полный разгром крестьянства наступающим крупным землевладением и капиталистическим фермерством. Крестьяне, которым когда-то принадлежала бо̀льшая часть земли, ко времени огораживания владеют лишь 20% ее. Бо̀льшая часть крестьянской земли перешла в руки собственников дворянского типа, духовенства, отчасти корпораций и буржуазии. С убыванием крестьянского землевладения связана резкая дифференциация остатков крестьянства. Огромное большинство крестьянства (свыше 90%) — мелкие собственники, примыкающие к сельскохозяйственным рабочим; с другой стороны, небольшая численно группа зажиточных крестьян-собственников сосредоточила в своих руках почти половину крестьянской земли. Среднее крестьянство, прежде типичное для деревни, представляет ничтожную группу. Та же картина получается при рассмотрении вопроса о крестьянской аренде. Наряду с мелкой

междукрестьянской арендой наблюдается значительное развитие капиталистической аренды: немногочисленные крупные арендаторы сосредоточили в своих руках свыше 70% всей арендуемой земли. Крупные крестьяне-собственники часто выступают также в качестве арендаторов капиталистического типа. Автор показал значительный рост дворянского землевладения, вытесняющего крестьянское и часто ведущего свое происхождение от скупки крестьянских наделов. При этом свыше 80% всей площади дворянского землевладения сосредоточено в руках крупных владельцев. Дворяне ведут собственное хозяйство лишь на ничтожной части своей земли; их владения представляют область развития аренды, особенно аренды капиталистической. В. М. Лавровский показал большое влияние коммутации церковной десятины на процесс обезземеления крестьянства: отказавшись от десятины, духовенство и светские импроприаторы десятины получили седьмую часть всей территории приходов за счет крестьян. Таким образом, даже в тех приходах, где крестьянство лучше сохранилось, оно представляло лишь деформированные остатки прежнего класса. Старая крестьянская деревня по существу уже разрушена.

Работа советских ученых подвергла коренному пересмотру ряд основных вопросов истории аграрных отношений и крестьянства в Англии с XI до XIX века. Многие вопросы получили новое и самостоятельное разрешение, часть из них поставлена и разрешается впервые. Все работы советских историков исходят из одних и тех же основных методологических позиций и рассматривают аграрную историю Англии как историю возникновения, развития и разложения феодального способа производства и феодальной эксплоатации, находящей свое выражение в феодальной ренте, как историю смены феодализма капиталистическим способом производства, капиталистической эксплоатацией, капиталистической земельной рентой. Выдвинута на первый план проблема развития феодальной собственности и смены ее собственностью буржуазной, причем выяснена роль, сыгранная в этом процессе буржуазной революцией 40-х и 50-х годов XVII века, представляющей переломный момент в аграрной истории Англии (как и в истории английской промышленности и торговли, английского государства, английской внешней политики, английской колониальной державы, английской политической, научной и философской мысли). Исследования советских ученых проследили судьбу английского крестьянства в феодальную эпоху; борьбу, развивающуюся

в деревне за феодальную ренту; расслоение крестьянства; образование деревенской буржуазии и деревенского пролетариата; процесс экспроприации английского крестьянства, его сопротивление сначала феодальному ограблению, а потом ограблению в интересах развивающегося капитализма, и, наконец, его окончательную гибель.

Не все эти вопросы освещены достаточно равномерно. Работа продолжается, расширяется и углубляется, захватывая все новые круги проблем и вовлекая все большее число молодых исследователей. И хотя еще много вопросов требует специальных изысканий, несомненно назревает уже потребность в обобщающем труде по истории крестьянства в Англии.

Проблемы аграрной истории не могут получить полного освещения без разработки ряда смежных областей. Невозможно говорить о деревне XI века и следующих столетий, не ставя вопроса об отделении города от деревни, о городском рынке; для аграрной истории Англии очень рано приобретает значение вопрос о внешней торговле, особенно торговле шерстью. Классовая борьба в деревне, столкновения групп внутри феодального класса, крестьянские движения не могут быть вполне поняты без связи с политическим развитием Англии, с историей ее права, судоустройства и судопроизводства. Аграрная история и аграрная политика XVI века непонятны без характеристики английского абсолютизма. Огромный узел вопросов политического и идеологического характера приходится развязывать всякому исследователю, затрагивающему какую-либо сторону истории буржуазной революции XVII века. Надо ли говорить о том, что вопрос о гибели английского крестьянства не может рассматриваться иначе, как в связи с общей проблемой первоначального накопления в ее как экономическом, так и политическом аспекте. Советским историкам пришлось широко раздвинуть рамки своих исследований и направить силы молодого поколения на разработку новых проблем. И здесь уже имеются несомненные достижения. Я. А. Левицкий написал интересную работу о городах эпохи «Книги Страшного Суда», наглядно показав процесс отделения города от деревни в Англии XI века. Ф. Я. Полянский касается истории английских городов XIII—XIV веков в своей докторской диссертации, посвященной хозяйственному строю средневековых цехов. Ряд вопросов политической истории конца XIII и начала XIV века нашел освещение в работах Е. В. Гутновой и в ее подготовляемой докторской диссертации, касающейся возникновения английского парламента. Особенно

привлекают советских ученых проблемы английской буржуазной революции, над которыми работают С. И. Архангельский, В. М. Лавровский, Е. А. Косминский, В. Ф. Семенов, А. С. Самойло, докторская диссертация которого посвящена вопросу о колониальной политике Кромвеля, Г. Р. Левин и др.

Все более выясняется целесообразность сравнительно-исторического изучения проблем аграрной истории. Особенности аграрного развития Англии могут быть вполне раскрыты лишь при сопоставлении с соответствующими явлениями в истории Франции, Нидерландов, Германии, Испании, Прибалтики, Восточной Европы, даже внеевропейских стран. Проблема аграрной истории занимает видное место в работе советских историков всех специальностей. Книга «Крестьяне на Руси» Б. Д. Грекова должна послужить образцом для обобщающих работ по аграрной истории других стран. В руководимой им группе по истории крестьянства историки СССР, славянства, Византии, западноевропейских и внеевропейских стран имеют возможность сообщать друг другу о методах и результатах своих аграрных исследований.

Труды советских ученых по аграрной истории Англии получили признание в зарубежной исторической литературе; более того, в настоящее время невозможно появление серьезного труда обобщающего характера по аграрной истории Англии без изучения трудов советских ученых и без ссылок на эти труды.

Наши исследования неизменно привлекают внимание английских историков-марксистов (Морис Добб в Кембриджском университете, Кристофер Хилл в Оксфордском университете и др.).

Академик
В. В. Струве

ОБЩЕСТВЕННЫЙ СТРОЙ ЮЖНОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ В ЭПОХУ III ДИНАСТИИ УРА

(2132—2024 гг. до н. э.)

Среди достижений советских историков в области изучения древнего Востока на первое место необходимо поставить результаты их работы над одной из основных проблем истории стран Востока — над проблемой общественного строя Междуречья во времена существования здесь первых больших государств. Эта проблема имеет большое историческое значение. Ее успешное разрешение обусловлено, в первую очередь, применением марксистско-ленинского учения об общественных формациях и убедительно свидетельствует о его методологической плодотворности.

Крупнейшие представители буржуазной историографии не могли решить проблему классовой структуры южного Междуречья конца третьего и начала второго тысячелетий. Они, как, например, Эд. Мейер, признавали строй Вавилонии той эпохи крепостническим [1], несмотря на то, что уже в знаменитом судебнике Хаммурапи проводится вполне отчетливое деление вавилонского общества на два антагонистических класса — рабовладельцев и рабов [2]. Так же и во втором из наиболее полно сохранившихся древневосточных судебников, судебнике хеттских царей, проходит красной нитью противопоставление раба свободному человеку [3], называемому или просто человеком, или же человеком «чистым», «светлым» [4]. Несмотря на эти свидетельства источников,

буржуазные историки и по сие время, в угоду традиционному противопоставлению Востока Западу, продолжают придерживаться, в основном, положения Эд. Мейера: «На Востоке, в противоположность Западу, рабство в хозяйственном отношении никогда не играло более или менее крупной роли» [5].

Что касается истории южного Междуречья на рубеже III и II тысячелетий, то в настоящее время приведенное положение Мейера мы можем опровергнуть на основании анализа судебника Хаммурапи, а также изучения документального материала, отражающего действительность экономического бытия сумерийского общества конца третьего тысячелетия. Действительно, в бесчисленных документах хозяйственной отчетности, дошедших до нас от эпохи третьей династии Ура (2132—2024 гг. до н. э.), мы приобрели исторические источники, не менее ценные, нежели судебник Хаммурапи, для точного определения характера производственных отношений современного им общества.

В эпоху третьей династии Ура южное Междуречье, как Сумер на юге, так и Аккад на севере, достигло своего полного политического, экономического и культурного расцвета. В это время сумерийский господствующий класс в последний раз пережил свой подъем. Сумерийский город-государство Ур на юго-западе Сумера, откуда вышел, согласно библейской традиции, Авраам, стал теперь центром большого и мощного государства. Династия, правившая тогда в Уре, называется третьей, потому что на основании царских списков, дошедших до нас от древнего Сумера, мы знаем, что в Уре царили еще в предшествующее время две другие династии [6]. Третья династия города Ура правила сравнительно долго, сто восемь лет, и из них около семидесяти лет правления южное Междуречье представляло объединенное, централизованное государство.

Это большой срок в истории объединения южного Междуречья. Вспомним, что централизованное государство великого царя Хаммурапи просуществовало не более двадцати с небольшим лет. Цари третьей династии Ура, подчеркивая объединение ими юга и севера южного Междуречья, называли себя царями Сумера и Аккада. Вместе с тем, претендуя на мировое господство, они называли себя также царями четырех стран света. Действительно, тогда государство, сложившееся в южном Междуречье, вышло далеко за пределы своих географических границ, подчинив себе

Ассирию, северную Месопотамию вплоть до Малой Азии, часть Элама и северной Аравии. Экономическая мощь государства покоилась на богатстве больших царских и храмовых хозяйств, которые управлялись патеси — наместниками тех городов, в области которых данные хозяйства были расположены [7].

До нас дошли в громадном количестве документы архивов указанных хозяйств из ряда городов: Лагаша, Уммы, Нипура, Дрехема, Ура и Адаба [8]. Таблетки их разбросаны по многочисленным музеям Европы, включая и музеи Советского Союза. Представлены они также в музеях Америки и Азии. Число дошедших до нас клинописных таблеток хозяйственной отчетности третьей династии Ура достигает, надо полагать, нескольких десятков тысяч. К сожалению, лишь незначительная часть их издана.

Одним из первых исследователей, издавших несколько таблеток эпохи третьей династии Ура, был Б. А. Тураев, опубликовавший в 1900 г. работу «О двух клинописных табличках музея Церковно-археологического общества при Киевской духовной академии» [9]. Слава авторства одного из первых изданий большого комплекса этих древних документов хозяйственной отчетности принадлежит также русскому ученому, знаменитому московскому ассириологу М. В. Никольскому, издавшему еще в 1908 г. большой труд о документах хозяйственной отчетности начала XXIV века до н. э. из собрания Н. П. Лихачева, названный им I томом серии «Документы хозяйственной отчетности древней Халдеи» [10]. В 1915 г. М. В. Никольский издал II том этой серии под названием «Документы эпохи династии Агаде и эпохи династии Ура» [11]. В этом томе 89 таблеток датированы годами правления династии Аккада (около 2340 по 2200 гг. до н. э.) и 440 таблеток относятся к третьей династии Ура. Большинство документов восходит к архивам города Уммы. М. В. Никольский дал в своем труде не только автографии изученных им клинописных таблеток, но и их транскрипцию и, что самое важное, их перевод. Известный исследователь клинописных таблеток третьей династии Ура люксембургский ассириолог Николай Шнейдер еще в 30-х годах воздерживался от перевода изучаемых и издаваемых им в автографии и транскрипции таблеток. Перевод М. В. Никольского и теперь еще, в 1947 г., не потерял своего значения, несмотря на большие успехи, которые сделала сумерология

за истекшие тридцать с лишним лет. Точно так же сохранили свою ценность и исторические выводы, которые были сделаны М. В. Никольским на основании исследованных им текстов в обширном введении, предпосланном его изданию. Документы хозяйственной отчетности, изданные М. В Никольским, Н. Шнейдером, Деймелем, Тюро-Данженом, Женульяком и многими другими, касаются самых основных моментов большого и сложного царского и храмового хозяйств той отдаленной эпохи всемирной истории.

Таблетки посвящены отчетам по изготовлению продукции больших мастерских [12]. До нас дошли документы из делопроизводства мастерских, обрабатывающих шерсть, металлы и т. д. Имеются отчеты складов, где хранились дерево, медь, шерсть, кожи [13]. Сохранились отчеты лавок, торговавших всем, начиная со свиного сала, зерна, фиников и кончая деревом, свинцом, благоухающими эссенциями [14]. Немало таблеток посвящено обработке полей с указанием потребного посевного зерна, рабочей силы и т. д. [15]. Нам известны сводки урожая. Большое количество таблеток было посвящено скотоводству, которое, наряду с зерновым хозяйством и садоводством, играло заметную роль. С точки зрения четкости работы этих громадных хозяйств заслуживают внимания и своеобразные свидетельства на право получения довольствия — маленькие таблетки с минускульным клинописным письмом. Их получали агенты и гонцы царя, останавливающиеся временно в городе, из архива которого происходили эти «продовольственные карточки». Данные «карточки» давали группе агентов и гонцов, перечисленных в документе, право получать некоторое количество хлеба, пива, масла, сушеной рыбы и овощей. По получении продуктов таблетку сдавали в архив, где она и была найдена в наше время [16].

Можно много еще назвать категорий документов древних архивов того времени, но и приведенных достаточно, чтобы получить ясное представление о громадном значении этих столь мало еще использованных исторических источников. Систематическое издание этого колоссального, но, к сожалению, очень разрозненного материала дает нам возможность так глубоко изучить экономику сумерийского общества, как ни одно из других древних обществ, даже, пожалуй, и общества эллинистического Египта, хотя мы и здесь располагаем бесконечным количеством документов хозяйственной отчетности.

Уже теперь, на основании того материала по хозяйственной отчетности эпохи третьей династии Ура, который издан в настоящее время, мы можем установить некоторые бесспорные положения, существенные для определения общественного строя южного Междуречья в XXI столетии до н. э. В этом отношении особенного внимания заслуживают изданные материалы архивов двух соседних городов — Уммы и Лагаша, вечно враждовавших между собой. Ценность этих материалов состоит в том, что среди них особенно много сохранилось документов, посвященных тем лицам, которые трудились в больших царских и храмовых хозяйствах Уммы и Лагаша [17].

Работа, выполняемая ими, как это установил уже М. В. Никольский, была самого разнообразного характера: пахота, жатва, обработка огородов, погрузка барж, отправка на них всевозможных продуктов, перевозка скота живого и заколотого, доставка зерновых продуктов в закрома, регулировка рек и каналов, поддержание ирригационного хозяйства, строительные работы, исправление дорог, рытье колодцев, изготовление кож, починка барж и т. д. Мы встречаем и специальные женские работы: разливание напитков и приготовление пищи [18]. Отсутствует среди этих работ рыбная ловля, а также и работы, связанные с пастьбой скота. Очевидно, и рыбаки и пастухи по характеру своего труда находились вне организации, ведавшей людом, трудившимся в зерновом царском хозяйстве Уммы или Лагаша. Иной раз упоминаются рыбаки, но в этих случаях они оказывались привлеченными к работам не по своей специальности, а, например, к каким-то работам по разгрузке. Специальные архивы, ведавшие рыбаками и пастухами, очевидно для эпохи династии Ура еще не известны [19].

Для обозначения лица, работавшего в этих хозяйствах, в документах третьей династии Ура служит клинописный знак, основным идеографическим значением которого является понятие «силы», «крепости». По всей вероятности, в этой идеограмме в данном контексте следует видеть обозначение «сильного человека». Фонетический эквивалент для этого клинописного знака в документах хозяйственной отчетности находили раньше в слове «кал», в последнее же время — в слове «гуруш».

В качестве коллективного названия для рабочей силы употреблялся клинописный знак, идеографическое значение которого соответствует понятию команды, сборища людей, рядового состава какого-нибудь коллектива. Фонетическим его эквивалентом является слово «эрин».

Чередование терминов «гуруш» и «эрин» мы находим в одном из двух очень любопытных текстов [20]. В этих двух больших текстах было перечислено поименно несколько сот работников царского хозяйства Уммы, названных в основном тексте одного из списков «гуруш», а в заключении — коллективным термином «эрин», «командой». Коллектив из трех лиц, являющийся производственной ячейкой при пахоте и бороньбе, назван не «гуруш», хотя каждый из них в отдельности обозначался термином «гуруш», а «эрин».

Наряду с мужским трудом в этих хозяйствах применялся и женский. Женщины-работницы обозначаются в текстах третьей династии Ура всегда идеограммой «женщины чужеземной страны». Ее фонетический эквивалент гласит «гим», и термин этот переводится всеми исследователями, как зарубежными, так и советскими, словом «рабыня» [21]. Из этого факта полного единодушия исследователей при переводе термина «гим» словом «рабыня» я сейчас не сделаю никакого вывода о действительном социальном положении этих женщин-работниц. Данную проблему я попытаюсь решить лишь после того, как установлю действительную социальную значимость их товарищей — мужчин, выше названных «гуруш». Для определения общественного строя государства третьей династии Ура необходимо в первую очередь выяснить положение «гуруш», их отношение к средствам производства, и установить тем самым способ их эксплоатации.

Исследователь, поставивший себе указанную задачу, сделал бы грубую методическую ошибку, если бы он приступил к решению своей задачи путем толкования термина «гуруш» или же соответствующей ему идеограммы. Для этого мы слишком мало комплексно знаем и письмо и язык шумерийского народа. Действительно, представим себе, к каким бы несуразным выводам мы пришли, если бы стали прибегать к толкованию таких русских терминов, как дворянин, дворник, придворный, дворовый, дворецкий, однодворец, дворянка, дворняжка и т. д., исходя из анализа основного непроизводного слова «двор» без достаточного комплексного знания русского языка. Поэтому я в своем исследовании отказываюсь от филологического анализа термина «гуруш» и графического анализа соответствующей ему идеограммы.

Я не буду применять и лингвистическую палеонтологическую методику, разработанную Н. Я. Марром, ибо для применения ее требуется

учет стадиальности, без которой названная методика теряет свою ценность. Учет стадиальности требует предварительной исторической обработки всего доступного нам материала. Историческая же обработка интересующих нас документов и теперь еще далеко не закончена, поскольку слишком мало советских востоковедов и историков заинтересовались этими текстами.

Ниже я попытаюсь, на основе исторического анализа проработанных мною документов, посвященных операциям с рабочей силой, определить социальную значимость «гуруш», а затем и «гим» [22].

Большинство изданных документов этого рода, ставших известными прежде всего потому, что издание их не было трудоемким, были клинописные таблетки сравнительно небольшого размера, посвященные единичным трудовым операциям. Подобных таблеток мною было установлено в одном эрмитажном собрании около 60 экземпляров.

В качестве образца таблеток, посвященных единичным трудовым операциям, приведу содержание двух документов, изданных М. В. Никольским. Содержание первого из них (№ 101 его труда) гласит: «30 работников — гуруш на один день в поле Агештинна в овчарню, в поле Лальмах для вывоза тростника [доставлены]. Надзиратель Лугальэзагзу. Печать Шарабазизи. Месяц прибавочный [т. е. XIII]. Год, в который Гимильсин, царь, воздвиг высокую стэлу [т. е. 6-й год царя Гимильсина, 4-го царя третьей династии Ура]».

Во второй таблетке, № 114 того же издания, читаем: «75 гуруш на один день на водоем Лугальлагни доставлены. 35 гуруш на один день на водоем Гишшиниг доставлены. 22 гуруш на один день на водоем Каман доставлены. Надзиратель Лугальэзагзу. Печать Шарахегаль. 6-й год царя Гимильсина».

Здесь нарочито выбраны, как образцы, две таблетки, касающиеся работников одного и того же надзирателя Лугальэзагзу и датированные одним и тем же шестым годом Гимильсина [23], чтобы и на этом первичном материале показать, что работники партии одного и того же надзирателя привлекались не один только раз в год.

Число этих работников (гуруш) на один день в одной из таблеток, изданной М. В. Никольским, достигает 1258 человек [24]. Число работниц, посланных на один день для изготовления муки, засвидетельствованное одной из таблеток частного собрания Венгер, равняется 6611 [25].

Среди таблеток, посвященных единичным трудовым операциям, имеются и таблетки, в которых гуруш направляются на работу на большее количество дней, чем один. Так в таблетке № 122 того же издания М. В. Никольского мы находим: «5 гуруш на десять дней из города Уммы, судно с рыбой, зеленью и молоком, бурлачить и торговать направлено. Печать Башиг. Надзиратель Акалла. Месяц прибавочный [XIII]. 3-й год царя Гимильсина» [26].

Впоследствии я объясню причину, почему в некоторых документах, посвященных единичным трудовым операциям, отмечается большее количество дней, нежели один, для труда работников гуруш. Сейчас же подчеркнем лишь то, что таблетки, устанавливающие срок работы в несколько дней, дошли до нас в значительно меньшем количестве и, кроме того, срок работы гуруш и на основании их все же настолько краток, что не мог исчерпать количество дней, которое мог бы требовать от своих подневольных людей и самый снисходительный господствующий класс.

Таким образом, пока в распоряжении историков имелись только таблетки, посвященные единичным трудовым операциям, нельзя было даже с некоторой долей вероятности определить социальную значимость упоминаемых в них работников гуруш или работниц гим. Они могли быть с одинаковым правом объявлены общинниками, рабами, крепостными или вольнонаемными людьми. Во введении к своему изданию М. В. Никольский определяет следующим образом положение работников гуруш, засвидетельствованных таблетками, посвященными единичным трудовым операциям: «Значительное число издаваемых документов содержит отчеты о труде взрослых, сильных людей, под которыми следует разуметь, по всей вероятности, наемных рабочих, отряжаемых группами от 10 до 1258 человек на производство работ по различным местам» [27].

Подобный вывод сделал крупный русский ученый на основании некоторых изданных им таблеток, в которых, в противоположность громадному большинству прочих документов, имеется указание и на вознаграждение и, кроме того, работники гуруш названы «наемными людьми». Так, например, мы находим «наемных людей» в № 207 издания М. В. Никольского: «1800 сар [мера пространства] вырубки тростника по 15 сар в день. Рабочая сила этого 120 дней [т. е. 1800 : 15 = 120]. 1200 сар вырубки тростника по 12 сар в день. Рабочая сила наемных людей [оценивается] по 8 мер

зерна. Надзиратель Идпаэ. Печать Уринанна. Поле Унагештин. 6-й год царя Гимильсина».

В дальнейшем мы еще вернемся к значению наемного труда в хозяйстве третьей династии Ура.

Из зарубежных исследователей одни считали гуруш разбираемых нами документов крепостными [28], другие — рабами [29], а в самое последнее время германский историк древнего права П. Кошакер [30] объявил их работниками «социалистического хозяйства» [31]. Точка зрения Кошакера перекликается с установкой главы католической школы ассириологов А. Деймеля, отрицавшего в сумерийском обществе наличие классовой борьбы [32].

Решение проблемы о социальной сущности и работников гуруш, и работниц гим стало возможно лишь после 1922 г., когда французским ассириологом Женульяком были изданы прекрасно сохранившиеся тексты, посвященные годовым отчетам чиновников царского и храмового хозяйств о тех днях, которые проработали гуруш или гим подведомственных им партий [33] или команд. До того, как я установил впоследствии, были изданы подобные же сводки, но они очень плохо сохранились. Из сводок можно было, конечно, сделать вывод о том, сколько дней в году эти работники были заняты в хозяйстве царя или храма.

Отчеты такого рода, подводящие итог расходу рабочей силы или, точнее, расходу зерна, необходимого для ее прокормления, были неизбежны при чрезвычайной сложности царских и храмовых хозяйств в городах Сумера, требующей детальной бухгалтерии. О существовании итоговых сводок, изданных Женульяком и некоторыми другими исследователями, свидетельствовали изданные уже в 1915 г. М. В. Никольским буллы с корзин, в которых хранились таблетки, содержавшие в своей совокупности отчет об использовании рабочей силы, входившей в партию работников того или другого чиновника царского хозяйства, например (№ 91 его издания): «Корзина с документами. Производство [операций] с рабочей силой людей Лушара надзирателя за 4-й и 5-й года царя Гимильсина здесь находится».

Очевидно, надзиратель Лушара накопил за эти два года правления Гимильсина большое количество таблеток, свидетельствовавших о предоставлении им своих работников для той или другой трудовой операции, требовавшейся в различных областях царского или храмового хозяйства

Уммы. Две из подобных таблеток я привел выше в переводе. Там мы видели, что в одной из них, наряду с именем надзирателя Лугальазагзу упоминалась печать чиновника Шарабазизи, а в другой — печать чиновника Шарахегаль. И Шарабазизи и Шарахегаль были, несомненно, теми чиновниками, которые заведывали полями и водоемами, куда были посланы работники надзирателя Лугальазагзу. Печати чиновников Шарахегаль и Шарабазизи и были откатаны на соответствующих таблетках. Можно, кажется, высказать положение, что почти все таблетки, посвященные операциям с рабочей силой, снабжались печатью чиновника, получающего от надзирателя в свое распоряжение требующуюся ему рабочую силу. Повидимому, подобная мера предотвращала возможность злоупотреблений со стороны надзирателей рабочих партий. Она, несомненно, создавала условия весьма тщательного контроля.

Надзиратели в течение года (а иногда двух и даже больше) накапливали, конечно, большое количество таких отчетов об единичных трудовых операциях и по истечении столь длительного срока могли дать на их основании обстоятельную сводку в главное управление царского хозяйства. В учреждениях, где приготовлялась мука, давались отчеты ежедневно [34], и уже на основании этих отчетов составлялись годовые, а иной раз и двухгодовые и даже почти трехгодовые сводки. Так, из архива города Лагаша дошла до нас отчетная сводка (к сожалению, фрагментированная) человекодней одного из мукомольных учреждений названного города за 29 (!) месяцев. Мы имеем здесь столь значительные числа посланных на один день работников, как 34 035, 65 752 и т. д. Общая сумма колоссальна: «Всего 283 141 гуруш на один день».

После составления подобных общих сводок надзиратели могли сдавать первичные документы в архив. Они складывали для этой цели таблетки в тростниковую корзинку и перевязывали ее веревкой. Конец узла веревки скреплялся глиняной пломбой (буллой), покрытой текстом, подобным тому, который был мною выше приведен. Такие корзинки хранились в архиве тысячами и во время пожаров при разгроме сумерийских городов вражескими полчищами сгорали вместе с веревками, но содержавшиеся в них документы сохранялись невредимыми. Десятки тысяч таблеток и сотни булл оставались лежать на месте пожарища и стали в конце концов объектом исследования современных ученых. В тот же самый архив, где хранились первичные документы, через некоторое время

сдавались и отчетные сводки надзирателей. Некоторые из этих сводок и были изданы Женульяком, Ник. Шнейдером и др. [35].

Среди изданных документов, наряду со сводками надзирателей партий гӯруш, имеются также и сводки надзирателей партий гим. Первые представляют обширные документы в 11, 12, 13 столбцов, по нескольку десятков строк текста. Вторые несколько меньшего объема. Сводки составлялись по определенной форме. Начало посвящено исчислению всей той рабочей силы, которой располагал надзиратель, составлявший сводку, и для прокормления которой он получал определенное количество мер зерна. Общая сумма рабочей силы являлась тем капиталом, которым данный надзиратель распоряжался по требованию заведующих различными отраслями обширного царского хозяйства.

Этому расходованию рабочей силы, а следовательно и предоставляемого ей зерна, была посвящена вторая и основная часть сводки. Здесь, на основании первичных документов, давался детальнейший отчет о распределении имевшейся налицо рабочей силы. Особого внимания заслуживает тот примечательный факт, что все те работы, которые перечислены в общих сводках, упоминаются и в названных выше таблетках, посвященных единичным операциям с рабочей силой. В сводках перечисляются работы, связанные с жатвой, пахотой, ирригацией, транспортом, рубкой тростника и т. д., словом — всеми теми разновидностями труда, которые, как мы выше отметили, выполняли, согласно записям в таблетках об единичных трудовых операциях, работники и работницы царских хозяйств. Для иллюстрации этого моего положения приведу один, но очень характерный пример. Среди работ, упомянутых в одной из сводок, есть следующая запись: «$66^3/_4$ ган [мера площади около $^1/_3$ га] пахоты по одному ган в день. Бороньба [той же земли] три раза по 6 ган [в день]. Рабочая сила людей их равняется 300 дней» [36].

Среди первичных таблеток такие же документы об организации работ по пахоте и бороньбе были изданы М. В. Никольским. Правда, лишь новый материал, изданный Женульяком, дал возможность до конца понять способ организации этих работ. Оказывается, что пахари работали группами по три человека. Лишь при подобном допущении получались те суммы человекодней, которые отмечались и в первичных таблетках и в сводках по отношению к каждому вспаханному и взбороненному участку [37].

Мы видим, таким образом, что эти большие общие сводки надзирателей входят как органическая часть в весь комплекс документов о рабочей силе, дошедших до нас из архива царского хозяйства городов Умма и Лагаша.

О том же свидетельствует и заключительная часть сводок, которая, кроме итогов и датировки, дает нам название документа и имя надзирателя, составившего его. Так, одна из сводок носит название «производство операций с рабочей силой людей Лудани надзирателя». Данное название полностью соответствует содержанию вышеприведенной буллы с корзины документов, содержавших данные о работниках одной партии: «Производство операций с рабочей силой людей Лушара надзирателя».

В сводках, наконец, мы находим те же имена надзирателей и чиновников, те же учреждения, разряды работников, те же названия полей и водоемов и т. д., что и в таблетках, посвященных единичным операциям с рабочей силой. Все эти данные с несомненностью доказывают, что общие сводки надзирателей рабочих партий не являются случайными документами, отображающими какое-нибудь неизвестное нам хозяйство, но, наоборот, входят в качестве органической, неотъемлемой части в весь громадный комплекс десятков тысяч документов, дошедших до нас из хозяйственных архивов Уммы и Лагаша. Бесчисленные таблетки, посвященные единичным операциям с рабочей силой, являются первичными документами по отношению к этим сводкам. Поэтому последние, как и таблетки, фиксирующие единичные операции с рабочей силой, взаимно подкрепляют и дополняют друг друга.

При данных условиях общие сводки надзирателей дают возможность разрешить вопрос о социальной значимости работников (гуруш) и работниц (гим) больших царских и храмовых хозяйств третьей династии Ура.

Наиболее существенна для решения этой задачи первая часть сводок — исчисления рабочей силы, которой располагал данный надзиратель. Так, одна из сводок [38] начинается со следующего любопытного установления: «24 пахаря и их сыновей 13 месяцев, начиная с первого месяца до прибавочного месяца [т. е. до XIII месяца]». Затем следует сумма дней, выработанных наемными людьми, всего 651 день. На третьем месте перечислены люди, названные «гуруш», которые были предоставлены составителю сводки другими надзирателями. Они выработали во всей совокупности $1955^5/_6$ дней. Наконец, список заканчивается

перечислением «носильщиков», переданных четырьмя другими надзирателями составителю сводки. Они выработали всего $628^1/_3$ дня. Их дни при подведении итога не включены в общую сумму дней «пахарей», «наемных людей» и «гуруш», переданных другими надзирателями. Текст, определяющий окончательный итог, гласит: «Всего 11 $966^5/_6$ гуруш на один день. Всего $628^1/_3$ носильщиков на один день».

Итоговая сумма в 11 $966^5/_6$ гуруш на один день вычислена вполне правильно. Она равняется сумме вышеприведенных слагаемых: 9360+ +651+$1955^5/_6$. Следует признать, что сумерийская хозяйственная отчетность была настолько точна, что оперировала с дробями трудового дня работника. Вообще было бы чрезвычайно интересно исследовать сумерийскую бухгалтерию — один из источников итальянской бухгалтерии. Любого исследователя могут поразить большие отчеты по израсходованию зерна для прокорма скота (тысяч голов крупного и десятков тысяч голов мелкого). Правда, здесь мы можем установить наличие мошеннической проделки: в общую сумму мер израсходованного зерна включен прокорм восьмисот не существовавших в природе овец [39].

В данном исследовании нас интересует не арифметическая и бухгалтерская точность суммы 11 $966^5/_6$, но контекст, в котором она приводится: «11 $966^5/_6$ гуруш на один день». Дело в том, что в эту общую сумму входят и те 9360 дней, которым равнялась рабочая сила 24 пахарей и их сыновей-помощников, трудившихся 13 месяцев. Из этого же с несомненностью следует, что составитель данной сводки, надзиратель Лугальгудэ, в «11 $966^5/_6$ гуруш на один день» видел не 11 $966^5/_6$ гуруш, посланных на однодневную работу, а 11 $966^5/_6$ человекодней.

То же понятие человекодня мы находим и в других сводках. Так, в сводке заведующего хозяйством Урнинсу общая сумма рабочей силы, которой он располагал, равнялась $9108^1/_6$ гуруш на один день. Эта сумма слагалась из 85 работников на один день (остаток предшествовавшего года), 7200 дней работы 20 «носильщиков» и их сыновей в течение 12 месяцев, $1813^1/_3$ дня наемных людей и $9^1/_2$ гуруш на один день, уступленных другим надзирателем [40]. Данная сводка интересна еще и тем, что она, подобно некоторым другим, включает число человекодней «носильщиков» в общее число человекодней гуруш. Так и в сводке, изданной Ник. Шнейдером, в число итоговой суммы «12 $211^5/_6$ гуруш на один день» входят человекодни и гуруш и носильщиков [41].

Понятие человекодня мы находим и в сводках надзирателей над партиями работниц — гим. Так, в сводке надзирателя Лугалькагины рабочая сила соответствовала 36 гим, работавшим 12 месяцев по 30 дней. В заключительном итоге сводки говорится уже не о 360 днях работы 36 гим, а о 12 960 работницах на один день, т. е. 36 × 360.

Я полагаю, что этих примеров вполне достаточно, чтобы с несомненностью установить в хозяйственной отчетности сумерийских писцов третьей династии Ура четкое понятие о человекодне. Это понятие надо ввести и в интерпретацию посвященных единичным трудовым операциям таблеток, в которых посылались, как мы выше видели, сотни и даже тысячи гуруш или гим на один день работы. В них приходится также рассматривать формулу «*n* гуруш или гим на один день» как обозначение не реального числа работников, а числа выработанных партией работников человекодней. Введение понятия человекодня было обусловлено удобством расчета с центральными закромами царского хозяйства. Последние выдавали на каждый человекодень работника или работницы определенную меру зерна.

Встречающаяся в первичных документах формула «*n* рабочих на *n* дней» относится ко всем тем случаям, когда работники высылались далеко за пределы самого хозяйства и поэтому требовалась на несколько дней вперед выдача им зернового довольствия. Формула «*n* работников на *n* дней» встречается и в сводках надзирателей. Так, например, в уже упомянутой сводке Лугальгудэ, столбец X, 37, мы читаем о 14 работниках — гуруш, отправившихся из Уммы в Ниппур и из города Дабрум в тот же Ниппур. На эту работу им было отпущено 56 дней, и их рабочая сила равнялась 784 дням, т. е. 56 × 14.

Это понятие человекодня, свидетельствующее о совершенстве счетного мастерства писцов третьей династии Ура, вместе с тем предоставляет нам и те данные, при помощи которых мы можем с несомненностью решить вопрос о связи этих гуруш или гим царских хозяйств третьей династии Ура со средствами производства. Действительно, из того, что основные работники, входившие в состав партии, работали круглый год, следует с полной бесспорностью, что эти работники или же работницы ни в коем случае не могли быть ни общинниками, ни крепостными барщинными крестьянами или крестьянками. Ведь люди, которые работали все дни года на полях царя или храма-землевладельца, не могли, конечно,

иметь своего поля, которое они сами бы обрабатывали и получали с него необходимый для воспроизводства продукт. Если поэтому работники царского хозяйства Уммы не были ни общинниками, ни крепостными барщинными крестьянами, то они могли быть или наемными людьми или рабами. Первая из указанных возможностей целиком отпадает, ибо, как мы выше видели, в сводку входили, как особая категория человекодней, дни работы наемных людей, число которых было невелико по сравнению с днями работы основных работников.

Таким образом, остается лишь одна возможность определения основных работников царского или храмового хозяйства городов Уммы и Лагаша — гуруш и гим, а именно как рабов или рабынь. Конечно, поскольку они имели при себе своих сыновей, положение их было несколько более сносным, чем положение рабов в эпоху Урукагины (около 2370 г. до н. э.), когда дети рабов были причислены исключительно к своим матерям.

Во всяком случае, с точки зрения экономической, мы должны определить гуруш или гим как рабов, поскольку они были оторваны от средств производства и противопоставлялись наемным людям.

Оторванными от средств производства были не только основные рабочие той или другой партии, но и те гуруш, за счет которых известное количество рабочих дней было предоставлено составителю сводки другими надзирателями. Таковыми являются, действительно, те лица, которые уступают вышеупомянутому надзирателю Лугальгудэ то или иное количество человекодней. Это можно доказать на основании собрания имен чиновников и работников царского хозяйства Уммы эпохи третьей династии Ура, составленного Ник. Шнейдером [42].

Иллюстрацией к тому способу, каким давались надзирателю еще добавочные человекодни его товарищами, может служить хотя бы таблетка № 159 издания М. В. Никольского. Ее текст гласит: «480 работников на один день для жатвы ячменя... работников на один день собирать овощи и сглаживать землю рукой. 964 работника на один день на высокое поле Рака доставлены. 134 работника на один день молотить ячмень и убирать в закрома поля Ушгидда. 702 работника на один день в поле Гу-Эддин осушать. 666 работников на один день в поле Ушгидда осушать. Чиновник (анше) Аабба... работников на один день собирать овощи сглаживать землю рукой на поле Сагду. Чиновник (анше) Акалла. 184¹/₂ работника на один день собирать овощи и сглаживать землю рукой в поле

Гугир. Чиновник (анше) Дааги. Хозяйственное распоряжение во время страды, сделанное чиновником (анше) Дуграбгинне. Надзиратель Аабба. Жрец Шабра. Печать Эгальси. 45-й год царя Шульги».

Из этого текста следует, что надзирателю Аабба [43] потребовались добавочные человекодни, и ему, на основании распоряжения чиновника Дуграбгинне, предоставили их его товарищи Акалла и Дааги. В таком же положении, как Аабба, бывал в течение отчетного года и надзиратель Лугальгудэ. Ему поэтому и передавались различными чиновниками некоторые количества человекодней. Другие надзиратели обходились при работах трудом своих основных работников с минимальным дополнением человекодней других надзирателей [44].

Уступленные другими надзирателями работники — гуруш, перечисленные в отчете названного Лугальгудэ, являлись, конечно, у своих надзирателей постоянной рабочей силой, которая лишь временно, по каким-либо особым соображениям, уступалась другому надзирателю.

Положение гуруш, мужских работников, и гим, женских, называвшихся термином, который соответствовал идеограмме «женщина чужеземной страны», т. е. рабыня, было одинаковым. И те и другие работали круглый год. Женские работники «отрывались» лишь на пять дней в месяц, когда они, с точки зрения древнего человека, являлись нечистыми и когда их нельзя было, следовательно, допускать к какой-либо работе. Гуруш и гим выполняли часто одну и ту же работу, например бурлаченье, столь вредное для женского организма. Результатом была большая смертность. Так, из партии в 170 рабынь за год умерло 55 [45]. Правда, и среди гуруш смертность была не меньшей: из партии в 44 гуруш при резке тростника погибло 12 человек [46].

Часто и гуруш и гим работали совместно. В одной из первичных таблеток из города Лагаша мы читаем о посылке на 9 дней 130 гим и 13 гуруш, чтобы вывезти на судах зерно из храма бога Эа [47]. В мельничном производстве, а также и в мастерских гуруш и гим работали вместе [48]. Из ряда документов мы узнаем, что они совместно получали свое зерновое довольствие [49].

Таким образом, на основании документов хозяйственной отчетности третьей династии Ура, мы можем со всей определенностью утверждать, что положение работников — гуруш вполне тождественно с положением работниц — гим, идеографически обозначаемых «женщинами чужеземной

страны», т. е. рабынями. Если мы поэтому без каких-либо колебаний называем последних рабынями, то и первых мы должны назвать рабами, не отождествляя, конечно, их тем самым с рабами Карфагена или Рима конца республики.

Теперь нам остается ответить на вопрос, почему писцы эпохи третьей династии Ура заменили в документах отчетности больших царских и храмовых хозяйств для обозначения раба идеограмму «мужчина чужеземной страны» идеограммой «сильный человек». Отказ от идеограммы «мужчина чужеземной страны» был, очевидно, обусловлен тем обстоятельством, что в эту эпоху основная масса рабов в больших хозяйствах страны рекрутировалась уже в меньшей степени из военнопленных, а главным образом из массы оторванных от средств производства сумерийцев — младших сыновей, не получивших земельного надела, рабов должников, людей, провинившихся в чем-нибудь, незаконнорожденных детей, потомков рабов и т. д. Выбрана же была идеограмма силы в условиях того тяготения к абстрактному мышлению в писцовых школах Сумера, которое привело к установлению, как мы выше видели, понятия человекодня. Вводя для обозначения подневольного работника царского и храмового хозяйства идеограмму силы, писцы создавали наряду с понятием человекодня и понятие единицы рабочей силы, требующей для своего воспроизводства определенного количества зерна. Наряду с целой единицей рабочей силы писцы третьей династии Ура знали $^5/_6$, $^1/_2$, $^1/_3$ и т. д. Гуруш, обладавшие производительностью в $^5/_6$, $^1/_2$, $^1/_3$ и т. д. рабочей силы, получали и соответственно меньшее количество зерна [50].

В течение веков идеограмма силы, применявшаяся к единице подневольной рабочей силы, настолько тесно переплелась со значением подневольного человека, раба, что в поздних вавилонских словарях идеограмма силы была связана со словом «арду», «раб», соответствующим идеограмме «человек чужеземной страны». Поскольку же рабочая сила женщины-рабыни не являлась мерилом производительности, подобно рабочей силе раба, и прокорм ее колебался между 20 и 30 мерами зерна в месяц, то для подневольной женщины была оставлена и традиционная идеограмма «женщина чужеземной страны», и традиционный фонетический эквивалент «гим».

Наш вывод о рабовладельческом характере царского и храмового хозяйств третьей династии Ура находит свое подтверждение в частно-

правовых документах эпохи, а также в фрагментах судебника названной династии. И тут и там мы находим противопоставление рабовладельцев и рабов [51].

Наряду с рабами, царские и храмовые хозяйства, так же как и частные, по сообщению частноправовых документов [52], привлекали наемных людей. Правда, в обычное время хозяйственного года наемный труд, очевидно, играл лишь небольшую роль. Число человекодней наемных людей в общих сводках, как мы выше видели, сильно уступало числу человекодней постоянных работников, т. е. рабов. Надо полагать, что управители больших сумерских хозяйств третьей династии Ура, а может быть также и малых хозяйств, держались того же принципа, что и Магон, великий теоретик рабовладельческого хозяйства Карфагена, а именно — преимущественного применения рабского труда во всех отраслях сельского хозяйства. Как известно, Магон и его римские ученики допускали применение большого количества наемных людей лишь в период страды, во время жатвы.

В большом царском хозяйстве Сумера эпохи третьей династии Ура во время жатвы также в больших размерах применялся наемный труд. Об этом свидетельствует замечательный документ, изданный Женульяком. Он датирован вторым годом царя Бурсина, третьего царя династии. В документе сохранилось исчисление работников, потребных для жатвы в важнейших царских хозяйствах. Общее число жнецов составляло 21 699 человек, из которых на царское хозяйство города Уммы падало 2600 [53]. Это число жнецов Уммы, очевидно, тождественно с числом 2580 людей города Уммы, которые, на основании другого документа, получали наряду с другими лицами, перечисленными по профессиям (купцы, воины, садовники, столяры и т. д.), небольшую сумму серебра [54].

Наличие документа, суммирующего общее число жнецов, требующихся для важнейших царских хозяйств Сумера, свидетельствует о том, что организация труда в этих хозяйствах была более или менее однородной. Мы можем, следовательно, предположить, что и в прочих крупных хозяйствах Сумера в обычную пору сельскохозяйственного года, так же как и в царском хозяйстве Уммы, преобладал рабский труд. Это подтверждается и данными, которые можно извлечь из архива города Лагаша Если в основном крупном хозяйстве Сумера, каковым, несомненно, было царское, обнимавшее тогда и храмовое хозяйство, мы находим в качестве

доминантного труда рабский труд, то мы должны допустить такое же преобладание рабского труда и в хозяйстве других землевладельцев.

Поэтому, на основании всего сказанного, общественный строй Сумера третьей династии Ура мы имеем право определить как строй рабовладельческий. Несомненно, и тогда продолжали существовать сельские общины, но они были уже очень ослаблены ростовщическими операциями господствующего класса [55]. Страдали от ростовщичества и те мелкие землевладельцы, которые обрабатывали свои поля с помощью семьи или нескольких рабов. Конечно, ни наличие разрушавшихся сельских общин, ни существование мелких свободных земледельцев не могут изменить установленной нами характеристики общественного строя Сумера третьей династии Ура как строя рабовладельческого.

В результате настоящего исследования мы пришли, таким образом, к необходимому выводу, что и в южном Междуречье в конце третьего тысячелетия до н. э. существовал рабовладельческий строй, как он существовал и в наиболее прогрессивных обществах древней Греции (Афины) и древней Италии (Рим) наряду с первобытно-общинными формами бытия в отсталых областях.

Вместе с тем мы должны подчеркнуть, что в Сумере эпохи третьей династии Ура рабовладельческий строй имел свои определенные, специфические особенности, отличающие его от рабовладельческого строя Афин и Рима. Наиболее существенной из них являлось бесспорно то обстоятельство, что рабы царских и храмовых хозяйств третьей династии Ура были большей частью не военнопленные иноплеменники, как в Афинах и Риме, а сумерийцы, по тем или иным причинам потерявшие свою связь с сельскими общинами и тем самым со средствами производства.

Было бы грубой методологической ошибкой считать жестоко эксплоатируемых гуруш и гим третьей династии Ура «общинниками». Гуруш и гим являлись рабами, несмотря на то, что многие из них были сумерийцами. В этом превращении значительного количества граждан сумерийских городов в безвольных рабов я готов видеть основную причину гибели сумерийской народности, растворившейся вскоре после падения третьей династии Ура в среде племен, говоривших на языках семитической группы.

Если же южное Междуречье в конце третьего тысячелетия до н. э. действительно знало рабовладельческий строй, то теряет свою силу для

одной из центральных исторических проблем столь характерное для буржуазной историографии противопоставление Востока и Запада.

Советские историки-востоковеды с гордостью могут вспомнить о двух наших крупнейших советских востоковедах, которые со всей настойчивостью и убедительностью вели борьбу с противопоставлением в исторической науке Востока и Запада. Н. Я. Марр порицал тех исследователей, «кто доселе думает, что европейцы созданы из другого теста, чем азиаты..., кто доселе верит, независимо от выставляемых ими лозунгов того или иного метода, в существование особых норм восточной культуры..., кто, следовательно, всерьез признает способы производства на Востоке иными, чем то были или по происхождению суть на Западе» [56].

Со словами Н. Я. Марра перекликаются слова С. Ф. Ольденбурга: «Для нас нет разделения народов и стран на Восток и Запад, противоположных друг другу и иначе изучаемых: Восток вошел в наш Союз на равных правах с Западом, и мы изучаем его с той же марксистской методологией, с какой изучаем Запад. Классовая борьба шла и идет на Востоке так же, как и на Западе. История Востока дала те же формации, что и история Запада. Это основное положение нашего востоковедения» [57].

Слова этих двух корифеев нашего востоковедения о недопустимости противопоставления Запада Востоку и Востока Западу не потеряли своей актуальности и в наши дни.

ЛИТЕРАТУРА И ПРИМЕЧАНИЯ

1. «Geschichte des Altertums», I 3, 1913, § 423.
2. Судебники Хаммурапи, § 15 сл., § 175 и др.
3. *В. Струве.* Хеттское общество как тип военного рабовладельческого общества. Изв. Гос. Акад. матер. культуры, вып. 97, 1934, стр. 60.
4. Там же, стр. 61.
5. *Эд. Мейер.* Рабство в древности, пер. с нем. СПб., 1899, стр. 26.
6. *В. Струве.* История древнего Востока. ОГИЗ, 1941, стр. 84.
7. Там же, стр. 85 сл.
8. Там же, стр. 85. *N. Schneider.* Orientalia, № 8, Рим, 1924, стр. 96.
9. Записки Вост. отдел. Русск. археол. об-ва, т. XIII, стр. 8 сл.
10. Древности восточные. Труды Вост. комиссии Моск. археол. об-ва, т. III, вып. II.
11. Та же серия, т. V.
12. Например, *H. de Genouillac.* Textes économiques d'Oumma. Изд. Луврского музея, серия Textes Cunéiformes, т. V, Париж, 1922, табл. XVIII—XX, № 6036, большой отчет о производстве корзиночной мастерской.

13. Например, *Allotte de la Fuÿe*. Compte de gestion d'un entrepôt de matériaux à Tummal. Rev. d'Assyriol., т. 16, 1919, стр. 1 сл.
14. *Женульяк*. Ук. соч., табл. XLI, № 6056.
15. *Reisner*. Tempelurkunden aus Telloh. Mitteil. aus den Berl. oriental. Samml., XI, 1901, № 1, 2, 3, 4, 5.
16. *N. Schneider*. Die Drehem- und Djohaurkunden der Strassburger Universitäts und Landesbibliothek. Рим, 1931, стр. 16 сл.
17. Относительно таблеток из Лагаша см. кроме труда Рейснера, указанного в прим. 15, еще *L. Delaporte* и *H. Genouillac*. Inventaire des Tablettes de Telloh, т. II, 1911; т. III, 1912; т. IV, 1912 и т. V, 1921. Издания таблеток из архива Уммы перечислены Н. Шнейдером в Orientalia, 1924, № 8, стр. 14—19 и 1925, № 18, стр. 4—5. Автором не учтен труд М. В. Никольского, указанный в прим. 11. Из изданий после 1925 г. следует отметить *N. Schneider*. Die Drehem- und Djohatexte im Kloster Montserrat (Barcelona), Рим, 1932; *G. G. Hackman*, Temple Documents of the Third Dynasty of Ur from Umm of Babylon. Inscriptions in the Collection of J. B. Nies, Jale University, т. V, 1937.
18. *М. В. Никольский*. Ук. соч., стр. 8 сл.
19. Мы имеем ряд исследований, посвященных организациям рыбаков для эпохи династии Ларсы. См. статью *P. Koschaker*. Zur staatlichen Wirtschaftsverwaltung in altbabylonischer Zeit, insbesondere nach Urkunden aus Larsa. Zeitschr. für Assyriologie, т. 47, 1942, стр. 135 сл.
20. *Женульяк*. Ук. соч., табл. XXXV—XXXVI, № 6038; *Н. Шнейдер*. Таблетки университетской библиотеки Страсбурга (см. прим. 16), № 88. Здесь в основном тексте перечисленные работники названы «гуруш».
21. См. академик *А. И. Тюменев*. Вестник древней истории, 1946, № 2, стр. 12.
22. Пока лишь в моих работах была сделана попытка решить вопрос о социальной значимости «гуруш» документов хозяйственной отчетности III династии Ура: Рабовладельческая латифундия в Сумире III династии Ура (Сборник в честь академика С. Ф. Ольденбурга, Л., 1933, стр. 495); Проблема зарождения, развития и разложения рабовладельческих обществ древнего Востока. (Изв. Гос. Акад. ист. матер. культуры, вып. 77, 1934, стр. 53 сл.); Рабство в древнейшем Сумире (Изв. Гос. Акад. ист. матер. культуры, вып. 97, 1934, стр. 5 сл.); Еще раз о рабовладельческой латифундии Сумира III династии Ура (Пробл. истории докапитал. обществ, 1934, № 7—8, стр. 211 сл.); Рудимент классового показателя в сумерийском языке (Изв. АН СССР, ООН, 1934, стр. 799 сл.); К семантике жалованья (Сборник III—IV «Язык и мышление», 1935, стр. 101 сл.); Древний Восток (История древнего мира, т. I, Соцэкгиз, М., 1937, стр. 92 сл.); История древнего Востока (ОГИЗ, 1941, стр. 84 сл.).— Академик Н. М. Никольский в своих полемических статьях (Проблемы истории докапитал. обществ, 1934, № 7—8, стр. 207 сл. и Вестник древней истории, 1941, № 1, стр. 55 сл.) использует исключительно интерпретированный мной материал или документы, переведенные М. В. Никольским.
23. Надзирателя Лугальэзагзу называют таблетки № 125, 127, 134 и 210. Его упоминают таблетки и других изданий или документы, переведенные М. В. Никольским.

24. *М. В. Никольский.* Ук. соч., стр. 9. Ср. большое количество «гуруш», отмеченное в таблетках № 150 и 159. В неизданной таблетке № 7604 Гос. Эрмитажа мы читаем даже о «2072 гуруш на 1 день».
25. *Деймель.* Orientalia, 1920, № 2, стр. 63.
26. О «гуруш» и «гим», связанных с судоходством, см. работы финского ассириолога *Armas Salonen.* Die Wasserfahrzeuge in Babylonien. Studia Orientalia, т. VIII, стр. 4, Гельсингфорс, 1939; *его же.* Nautica Babyloniaca. Там же, 1942.
27. *М. В. Никольский.* Ук. соч., стр. 9.
28. *L. Legrain.* Le temps des rois d'Our. Париж, 1912, стр. 11.
29. *G. G. Hackman.* Ук. соч. (см. прим. 17), стр. 3.
30. Ряд работ П. Кошакера являются бесспорно классическими, как, например, Rechtsvergleichende Studien zur Gesetzgebung Hammurapis (Лейпциг, 1917); Neue Keilschriftliche Rechtsurkunden aus der El-Amarna Zeit (XXXIX том Abhandl. Phil.-Hist. Kl. d. Sächs. Akad. Wiss., 1928) и др.
31. Он говорит в своей названной статье (см. прим. 19) в Zeitschr. f. Assyriol., т. 47, 1942, стр. 149, о «сумерийском государственном социализме при III династии Ура».
32. Ср. интерпретацию А. Деймеля текстов Урукагины в Orientalia, 1920, № 8, стр. 3 сл. Здесь же он называет прокорм рабынь «зарплатой».
33. *Женульяк.* Ук. соч. (прим. 12), табл. VIII—X, № 5674; табл. XI—XII, № 5675; табл. XIII—XVI, № 5676 — сводки надзирателей партий «гуруш»; табл. I, № 5665; табл. II, № 5668; табл. III, № 5669; табл. IV, № 5670 — сводки о работе «гим».
34. См. *N. Schneider.* Die Lohnbücher der Mühle von Sagdana. Archiv f. Orientforsch., III, 1926, стр. 121 сл.
35. Кроме сводок надзирателей, изданных Женульяком и перечисленных в прим. 33, мы находим подобные документы, восходящие к архиву Уммы, еще в *E. Chiera.* Selected Temple Accounts from Telloh, Iokha and Drehem, Филадельфия, 1922, № 2, 5 (сводки о работе «гим»); *Н. Шнейдер.* Таблетки университетской библиотеки Страсбурга (прим. 16), № 85 (сводка о работе «гуруш»). *G. G. Hackman.* Ук. соч. (прим. 17), № 272 (сводка того же самого надзирателя Лугальгудэ, который составил сводку, переведенную мной в Пробл. истории докапитал. обществ, 1934, № 7—8, стр. 211 сл. Из Лагаша мне известны сводка в Cuneiform Texts from Babylonian Tablets etc. in the British Museum, т. IX, табл. 46, № 21348 и сильно фрагментированная сводка, изданная *G. Barton.* Haverford Library Collection, т. III, № 359. Обе сводки учитывают работу «гуруш».
36. Столб. III, строка 8—11 текста, переведенного мной в Пробл. истории докапитал. обществ, 1934, № 7—8, стр. 211 сл.
37. См. прим. 1 к стр. 213 только что указанного моего исследования.
38. См. это же мое исследование, стр. 212. Нижеприведенное число $1955^5/_6$ восстановлено мной на основании совокупности числовых данных. В тексте оно разрушено.
39. *N. Schneider.* Der Viehbestand des é-gal in Lagaš. Archiv f. Orientforsch., т. IV, 1927, стр. 206 сл.
40. *Женульяк.* Ук. соч., № 5676, столб. 1, табл. XIII.

41. Ук. соч. (в прим. 16), № 85. Упоминаемая ниже сводка надзирателя Лугалькагины о труде 36 «гим» издана Женульяком, ук. соч., № 5669, табл. III.
42. Из 24 лиц, уступивших надзирателю Лугальгудэ то или иное количество человекодней, 22(!) могут быть определены как чиновники царского хозяйства Уммы на основании собрания имен, составленного Н. Шнейдером, Orientalia, 1927, № 23 и 24 и других изданий, вышедших после 1927 г.
43. Надзиратель Аабба в свою очередь уступил некоторое количество человекодней надзирателю Лугальгудэ, согласно его вышеуказанной (прим. 36) сводке: столб. 11, строка 16—17.
44. *Женульяк.* Ук. соч., № 5676. Составитель данной сводки ограничился получением лишь $9^1/_2$ добавочных человекодней (столб. 1, стр. 27—28).
45. *Женульяк.* Ук. соч., табл. XXVII—XXVIII, № 6039.
46. См. Cuneiform Texts (см. прим. 35), т. IX, табл. 46.
47. *A. Salonen.* Nautica Babyloniaca (см. прим. 26), стр. 17.
48. См., например, Cuneiform Texts, т. VII, табл. 37.
49. См., например, *Н. Шнейдер.* Таблетки собрания монастыря Монтсеррат (см. прим. 17), № 285.
50. См. хотя бы *Н. Шнейдер.* Ук. соч. (в прим. 16), стр. 64.
51. *В. Струве.* История древнего Востока, стр. 87.
52. *Женульяк.* Ук. соч., № 6048. См. его же, Babyloniaca, т. VIII, 1924, стр. 51.
53. *Женульяк.* Ук. соч., табл. XXXI, № 6041.
54. *Женульяк.* Ук. соч., № 6166. См. его же, Babyloniaca, т. VIII, стр. 54.
55. См., например, *C. E. Keiser.* Selected Temple Documents of the Ur Dynasty. Jale Orient Series, Babylon. Texts, т. IV, 1919, № 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 22, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 37, 38, 43, 44, 45 и т. д.
56. *Н. Я. Марр.* Избранные работы, т. III, 1934, стр. 351.
57. *С. Ф. Ольденбург.* Восток и Запад в советских условиях. Соцэкгиз, 1931, стр. 9.

Академик

И. Э. Грабарь

РЕСТАВРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ОТКРЫТИЯ ПАМЯТНИКОВ ИСКУССТВА

Научная реставрация памятников искусства — явление недавнего времени, обязанное своим возникновением Великой Октябрьской социалистической революции.

Реставрация как ремонт была известна уже в глубокой древности. Памятники искусства, как и все на свете, ветшают и нуждаются в ремонте. К обветшанию от времени присоединялась порча от случайностей и от рук человеческих, что, естественно, приводило к необходимости чинки, т. е. к простейшему виду поновления и восстановления, или реставрации. Постепенно, на протяжении веков, слагались реставрационные навыки и традиции, передававшиеся из поколения в поколение и вылившиеся в особую реставрационную рецептуру. При этом мало учитывались успехи точных наук — химии и физики; рецепты носили печать кустарности, были засекречены, и применение их на практике доморощенными, малограмотными реставраторами калечило и безвозвратно губило тысячи картин. Их гибель, как правило, совершалась следующим образом.

Масляная живопись с течением времени темнеет и трескается. Картина, написанная в XVI веке, через 100 лет оказывалась настолько почерневшей, что ее владелец был вынужден просить кого-либо из художников освежить ее, что тот и делал, покрывая поверхность густым лаком, а иногда и прописывая большие куски заново свежей краской. Но свежая краска темнеет гораздо скорее, нежели уже устоявшаяся старая краска, дошед-

шая до известного градуса потемнения; поэтому через 10—20 лет вновь прописанные места становятся значительно темнее старых, и следующему владельцу ничего не остается, как прибегнуть к тому же средству, весьма коварному, хотя и дающему временный эффект.

Но этого мало: в процессе переписывания иному собственнику картины приходила фантазия изменить что-нибудь в ее сюжете,— не нравилось чье-либо лицо, и он просил написать новое или изменить прическу и дать в руки другой предмет. Понемногу, по истечении двух-трех столетий, от первоначальной картины в некоторых случаях не остается уже ничего, и вместо произведения XVI века перед нами нередко вещь XIX века.

Блестящим образцом такой метаморфозы может служить икона Киприана, митрополита Московского, конца XIV века, найденная нами в 1918 г. в рухляди на колокольне Ивана Великого (рис. 1). Вся потрескавшаяся, она была сочтена когда-то погибшей, почему ее и выбросили из церкви. По удалении записи XVIII века открылась живопись XVII века, изображающая уже другого «святителя», Феогноста, тоже московского митрополита первой половины XIV века (рис. 2).

Другим аналогичным примером является знаменитая картина художника XVII века Франса Гальса — «Забулдыга» (Эдинбургского музея), изображавшая веселого бородатого человека в шляпе, с бокалом вина в руке. С этой картины сохранилась современная ей гравюра, изображающая того же человека без шляпы, с взъерошенными волосами и с лошадиной челюстью в руке вместо бокала. Гравюра навела на мысль исследовать данный холст, и на месте шляпы и бокала были обнаружены ясные признаки нижележащей живописи — волос и челюсти. По удалении записи картина Гальса предстала в своем изначальном виде, в каком она и выставлена ныне в Эдинбургском музее.

Данный случай представляет пример относительно безболезненного искажения произведения, без уничтожения оригинала до основания, но бывают случаи и более сложные, иногда непоправимые. Неграмотный реставратор, промывая старую живопись с целью придать ей более свежий вид, пускает иной раз в ход такие сильно действующие реактивы, что они растворяют не только верхние, позднейшие записи, но и первоначальный слой, принадлежащий самому автору.

Опасаясь гнева владельца за испорченную картину, реставратор прописывает смытое место заново, придавая ему старинную фактуру.

Не мало таких испорченных картин встречается не только в частных, но и в государственных музеях Европы. С виду они нередко производят впечатление полной сохранности, и порча познается лишь в реставрационном процессе.

Но бывают и явления обратного порядка — налицо картина полного разрушения памятника, казалось бы погибшего безнадежно, тогда как на самом деле он является произведением великолепной сохранности. Такие случаи мы имеем в живописи темперой — техникой красок, стертых не на масле, а на яичном желтке. В этой технике написаны все древнерусские иконы, а также картины, т. е. в сущности те же иконы, итальянских школ XIV и XV столетий.

Типичный пример такого случая мы видим в четырехчастной иконке, найденной экспедицией Центральных государственных реставрационных мастерских на колокольне одного упраздненного монастыря, куда она была выброшена вследствие ее катастрофического с виду состояния. Она действительно производила впечатление явно погибшего памятника, но пробная расчистка одного из четырех клейм показала, что пострадала только поздняя запись, растрескавшаяся, шелушившаяся и отпадавшая кусками; первоначальная же живопись оказалась в нетронутом состоянии (рис. 3).

Кроме приведенных случаев, в реставрационной практике встречаются сотни других, настолько несхожих, что каждый из них должен решаться по-новому, особым, только для данного памятника подходящим способом. Ввиду чрезвычайной сложности реставрационного дела, необычайного разнообразия задач, возникающих на практике, и сомнительности многих приемов, унаследованных нашим временем от прошлого, надо было подумать о подведении твердой научной базы под практические работы и о проверке всей методики.

Вскоре после Октябрьской революции, в кругу историков русского искусства, занимавшихся теоретически и практически вопросами реставрации памятников живописи и архитектуры, возникла мысль о создании специального органа, на который была бы возложена задача разработки научных основ реставрации и осуществление практических работ в этой области. В мае 1918 г., при Отделе по делам музеев, по инициативе автора этих строк и под его руководством была организована Всероссийская реставрационная комиссия, преобразованная впоследствии в Централь-

ные государственные реставрационные мастерские. Ее основная задача заключалась в охране памятников искусства и старины, одним из наиболее действенных методов которой является реставрация в широком понимании этого слова, охватывающем моменты укрепления и раскрытия. В самом деле, что важнее всего для сохранности памятника? Несомненно, прежде всего, его укрепление: укрепление живописи, если она грозит отпадением; арки, свода в здании, если есть опасность, что они могут рушиться; укрепление расслаивающегося камня статуи. После того как достигнута эта первоочередная задача, можно, а в некоторых случаях и должно, приступить ко второй — к раскрытию памятника. Верхний слой записи, нанесенный на первоначальную живопись через несколько столетий, не только сам разрушается, но и тянет за собой лежащую ниже древнюю живопись, которой явно угрожает опасность отслоения. Единственным средством ее спасения является удаление позднейшего слоя, т. е., другими словами, раскрытие памятника.

Приведем пример из области архитектуры. Древнее здание на протяжении веков застраивалось и надстраивалось, причем некоторые особенно грузные, технически неграмотно надложенные части так давили на древнейшую кладку сооружения, что единственным средством сохранения последней представлялось удаление перегрузки, т. е. опять-таки раскрытие памятника.

Но ввиду того, что опасности разрушения, как правило, всегда вызываются теми изменениями, которые вносятся в памятник невежественными поновителями и восстановителями, именующими себя «реставраторами», нами было выдвинуто требование: ограничиваться только раскрытием, отнюдь не прибегая к восполнениям, тем более к каким бы то ни было изменениям. Если на иконе обнажились зияющие пустоты от некогда смытой плохим реставратором живописи, их достаточно подтонировать и нивелировать, чтобы данное место можно было отличить от соседней изначальной живописи. Аналогичное требование предъявляется и реставратору-архитектору.

Была разработана подробная инструкция, обязательная для ведения всех реставрационных работ, которая жестко применялась в течение свыше четверти века и продолжает применяться в советской практике до сего дня. Ее основные научные принципы, впервые сформулированные в Советском Союзе, были быстро восприняты в западноевропейской реста-

врационной практике, найдя одобрение и подтверждение на очередных археологических конгрессах.

Наступила эпоха необычайных открытий в области истории искусства — как русского, так и мирового. Реставрационные мастерские разработали в 1918 г. план восстановления древнейших памятников живописи и архитектуры, нуждавшихся в укреплении и раскрытии. По этому плану была начата систематическая реставрация знаменитейших памятников живописи, о которых сохранились известия в летописях. Таким памятником издревле считалась, например, икона Владимирской богоматери Московского Успенского собора. Летописи отмечали все события, связанные с нею, и в процессе реставрации полностью подтвердилась их достоверность: привоз ее в XII веке из Константинополя, ограбление украшавших ее драгоценностей татарами, напавшими в XIII веке на Владимир, где она тогда находилась, поновление ее в начале XV века, реставрация в XVI, XVII, XVIII и XIX веках.

Вскрывая ее живопись слой за слоем и углубляясь постепенно в нижележащие пласты, мы действительно в ее первоначальной живописи видим подлинное искусство Константинополя на рубеже XI—XII веков. К сожалению, от этой живописи уцелели только лики матери и младенца,— все остальное на иконе относится уже к позднейшим векам, но так как и эти фрагменты принадлежат истории, то было решено сохранить их в неприкосновенности как свидетельства древности, тем более что, уничтожив их, мы не нашли бы под ними ничего кроме нового белого левкаса. Таким образом, весь этот замечательный памятник вышел из реставрационной мастерской как бы составленным из семи фрагментов, принадлежащих семи последовательным векам (рис. 4, 5).

Кроме двух ликов к XII веку относится ручка младенца, охватывающая шею матери, верхняя часть сорочки младенца и красная буква «М» налево вверху, на фрагменте первоначального золотого фона.

Впервые икона была подвергнута ремонту в XIII веке, после ограбления украшавших ее драгоценных камней и золота, врезанных в доску. От этого времени сохранился небольшой фрагмент рубашки младенца и кончики пальцев матери, относящихся к тому же XIII веку и не совпадающих с очерком позднейшей руки.

В 1408 г., когда Андрей Рублев был послан московским князем Василием Дмитриевичем во Владимир для реставрации древних фресок Успен-

ского собора и для написания икон иконостаса и новых фресок, икона Владимирской богоматери, как было обнаружено в процессе реставрации, вновь подверглась капитальному ремонту, произведенному, по всей вероятности, тем же Рублевым. Удалив древнюю живопись, пришедшую в ветхость и грозившую отпадением, он перегрунтовал обнажившуюся поверхность и все эти места прописал заново. К этому времени относится бо́льшая часть фона, сохранившегося до наших дней, шея младенца и его волосы, правая рука матери (кроме кончиков пальцев) и почти весь низ иконы. Все остальное на иконе принадлежит уже XVI веку, когда, по свидетельству летописи, она была снова реставрирована по инициативе митрополита Макария. При последующих реставрациях XVII—XIX веков новые записи ограничились только небольшими кусками в различных местах поверхности.

В результате большой работы, проведенной на высоком научном уровне коллективом Реставрационных мастерских, был открыт памятник величайшего историко-художественного значения. Правда, он сохранился лишь фрагментарно, но и то немногое, что уцелело до нас от неизвестной до сих пор константинопольской живописи конца XI — начала XII века, безоговорочно признано в мировой науке выдающимся событием и драгоценным даром, принесенным человечеству Советским Союзом. До раскрытия этой иконы никто не предполагал, что на Востоке, уже задолго до итальянского Возрождения, художники начали ставить перед собою задачи столь трогательного, лирического характера, как изображение этого скорбного лика матери, нежно прижимающей к себе головку сына в предчувствии его трагической судьбы. Во время реставрации удалось бесспорно доказать, что как раз эти две головы написаны на рубеже XI—XII веков, и полностью подтвердить достоверность летописного свидетельства о привозе иконы из Константинополя в первой половине XII века. Реставрация этого памятника коренным образом изменила взгляды историков искусства на эволюцию европейской живописи вообще.

Метод реставрации, принятый решением особой реставрационной комиссии по данному памятнику, был впервые введен в практику и в дальнейшем применялся во всех остальных работах. Исходя из убеждения, что каждый фрагмент той или другой эпохи, находимый на памятнике, должен быть бережно сохраняем, мы удалили только те поверхностные

слои, под которыми устанавливали наличие более древних, тщательно фиксируя и то, что удалялось. Этим путем каждая эпоха точно определяется и документируется, давая исчерпывающую картину всей истории произведения. Этот метод, который с полным правом должен быть назван советским, получил сейчас всеобщее признание и в Западной Европе.

Таким образом были раскрыты все древнейшие памятники русского искусства, хранившиеся веками в Московском Успенском соборе, бывшем подлинным всероссийским музеем искусства, а также в соборах и монастырях Новгорода, Пскова, Ярославля, Нижнего Новгорода, Твери, Кашина, Смоленска. Кроме того, в 1919 и 1920 гг. Реставрационными мастерскими был организован ряд экспедиций по течению Волги и Северной Двины с их притоками, взяты на учет и реставрированы сотни памятников живописи и архитектуры, до тех пор остававшихся в неизвестности и чрезвычайно обогативших науку. По существу только с этого времени исследовательская работа над памятниками древнерусского искусства встала на должную высоту.

В течение первых десяти лет деятельности Реставрационных мастерских были открыты следующие важнейшие памятники живописи, заставившие пересмотреть все прежние взгляды на историю древнейшего периода русской живописи.

Здесь, наряду с иконой Владимирской богоматери, надо остановиться на фресках XII в.

1. Построенный в конце XII в. во Владимире на Клязьме великим князем Всеволодом, Дмитровский собор тогда же был украшен внутри великолепными фресками, принадлежащими кисти как византийских мастеров, так и их русских учеников.

Насколько русские были художественно одарены, видно на целом ряде примеров из истории древнерусской живописи, свидетельствующих, что они не только достигали мастерства своих учителей, но и превосходили их искусством. Доказательства этого мы видим и на фресках Дмитровского собора, реставрация которых произведена была в 1918 г. бригадой наиболее испытанных художников-реставраторов под моим руководством.

Как раз эти фрески были сильно искажены во время ряда предыдущих реставраций XIX в., когда они были покрыты несколькими

слоями новой живописи. Надо было смыть вандальскую запись и открыть изначальную живопись. О том, что представляла собой эта фальшивая живопись, можно судить по двум фотографиям, снятым нами перед началом наших работ в качестве документальной фиксации. Особенно показательна полумалярная фигура ангела на одной из арок, показывающая, как мало церемонились тогдашние «реставраторы» и их «ученые руководители».

Под вековыми наслоениями нам удалось открыть величайшие художественные произведения всех времен, миновать которых не может отныне ни один историк мирового искусства. Вот деталь одной из фресок, изображающих апостолов, в сонме ангелов. Как великолепно написаны эти последние! Наряду с отдельными головами явно греческой руки мы различаем и руку русского художника, также большого мастера. Вот голова апостола-грека. Такие головы брюнетов с крупными чертами лица художник мог наблюдать в Константинополе и в Малой Азии. А вот голова блондина, голубоглазого, с мягкими чертами,— до очевидности северянина. Облик такого апостола никогда не пришел бы в голову греку,— его мог изобразить только русский.

Исключительно прекрасны головы ангелов, изобличающие также две руки, греческую и русскую. Вот одна из последних голов. Как мало здесь канонической схемы, как жизненна, правдива и подлинно реалистична она! Как все великие создания прошлых веков, эта живопись неувядаема, нестареюща, современна.

2. Фрески XII века в Антоньевом монастыре в Новгороде.

3. Фрески XII века в Спасо-Мирожском монастыре в Пскове.

4. Фрески XII века в Георгиевской церкви в Старой Ладоге.

5. Фрески Феофана Грека, XIV века, в церкви Спаса Преображения на Ильине (в Новгороде).

6. «Устюжское Благовещение», XII века, в Московском Успенском соборе.

7. «Спас Нерукотворный», XII века, в том же соборе.

8. Голова златоволосого ангела, XII века, из б. Румянцевского музея.

9. «Явление архангела Михаила», XII века, в Московском Успенском соборе.

10. «Знамение», XII века, в Знаменском монастыре в Новгороде.

11. «Св. Николай», XII века, в Московском Новодевичьем монастыре.

12. «Дмитрий Солунский», XII века, в соборе г. Дмитрова.

13. «Иоанн («Еван»), Георгий и Власий», XIII века, в Историческом музее в Москве.

14. Царские врата, XIII века, из села Кривого.

15. «Богоматерь Свенско-Печерская», XIII века, из Свенского монастыря близ Брянска.

16. «Богоматерь Толгская», в рост, XIII века, из Толгского монастыря близ Ярославля.

17. «Богоматерь Толгская», погрудная, XIII века, из того же монастыря.

18. «Богоматерь Оранта», XIII века, из Спасского монастыря в Ярославле.

19. «Богоматерь Корсунская», XIII века, в Московском Успенском соборе.

20. «Богоматерь Донская», XIV века, из Московского Благовещенского собора.

Особое внимание было уделено фрескам и иконам, связанным, по летописным данным, с величайшим художником древней Руси Андреем Рублевым. Уже в 1919 г. была раскрыта значительная часть его фресок в Успенском соборе г. Владимира на Клязьме, исполненных в 1408 г. вместе с Данилой Черным. Ими же был выполнен одновременно и иконостас для этого собора. Но после посещения Владимира Екатериной II все иконы были проданы крестьянам села Васильевского Шуйского уезда, а вместо них были написаны новые, устроенные в новом иконостасе, своей пышной изукрашенностью отвечавшем новому вкусу. Постановлением Совнаркома под председательством Ленина иконы села Васильевского были национализированы и перевезены в Москву для реставрации.

Ввиду многочисленности икон и крайней сложности их раскрытия, до сих пор расчищена только часть их, ныне находящаяся в Третьяковской галлерее и Русском музее. Продолжение этой ответственной работы возложено на Центральную государственную художественную реставрационную мастерскую Комитета по делам искусств.

Одновременно с реставрацией иконы Рублева «Троицы», в Троицком соборе Троице-Сергиевской лавры — ныне Загорского музея-заповедника — была начата планомерная реставрация всего соборного иконостаса, значительная часть икон которого принадлежит кисти Рублева. Это трудное дело можно было поручить только особо выдающимся спе-

циалистам. Поэтому хотя со времени начала работ прошло 29 лет, иконостас закончен только в 1947 г.

На первом месте среди икон иконостаса должна быть поставлена знаменитая отныне на весь свет «Троица» Рублева, написанная в 1420-х годах. Еще недавно западноевропейские буржуазные историки искусства утверждали, что все древнерусское искусство является всего лишь провинциальным отголоском византийского. Да, Русь получила свою религиозную живопись — а иной в те времена не было ни у одного народа — от Византии, но уже вскоре настолько переработала византийские начала, что уже в XII в. имела свое собственное, ярко выраженное национальное лицо. Сейчас прозрели и на Западе, ибо, ознакомившись по воспроизведениям с «Троицей», не могли не признать в ее авторе подлинного гения. Сейчас Рублев — один из популярнейших великих мастеров всех времен.

В 1918 г. в церкви Успения на Городке в Звенигороде были открыты рублевские фрески, а в соседнем сарае извлечены из-под дров выброшенные в XVIII веке за ветхостью три иконы Рублева, бывшие некогда в иконостасе той же церкви. Они сильно пострадали от сырости и небрежения, но и те фрагменты их живописи, которые все же уцелели, свидетельствуют о высоком искусстве русского художника, стяжавшего в потомстве легендарную славу. Эти три иконы «деисуса» — «Христос», «Апостол Павел» и «Архангел» — находятся ныне в Третьяковской галлерее. Их доски обнажены, на них не много живописи, но зато эта живопись подстать самому Тициану, явившемуся только через сто лет.

Большие реставрационные работы ведутся по всей территории Советского Союза до сегодняшнего дня, по живописи — Центральной государственной художественной реставрационной мастерской Комитета по делам искусств при Совете Министров СССР, по архитектуре — Главным управлением охраны и реставрации памятников архитектуры Комитета по делам архитектуры при Совете Министров СССР. В 1947 г. под руководством проф. Н. П. Сычева были открыты фрески середины XII в. в церкви в Кидекше близ Суздаля, первой постройке Юрия Долгорукого. Значение этих фресок, совершенно уникальных в истории мировой живописи по композиции, повышается тем обстоятельством, что в одной из женских фигур Н. П. Сычеву удалось бесспорно установить портрет княгини Евфросинии, жены Юрия Долгорукого.



Рис. 1. «Митрополит Киприан». Икона XVII века, до реставрации



Рис. 2. «Митрополит Феогност». Та же икона после реставрации с раскрытой живописью XVI века

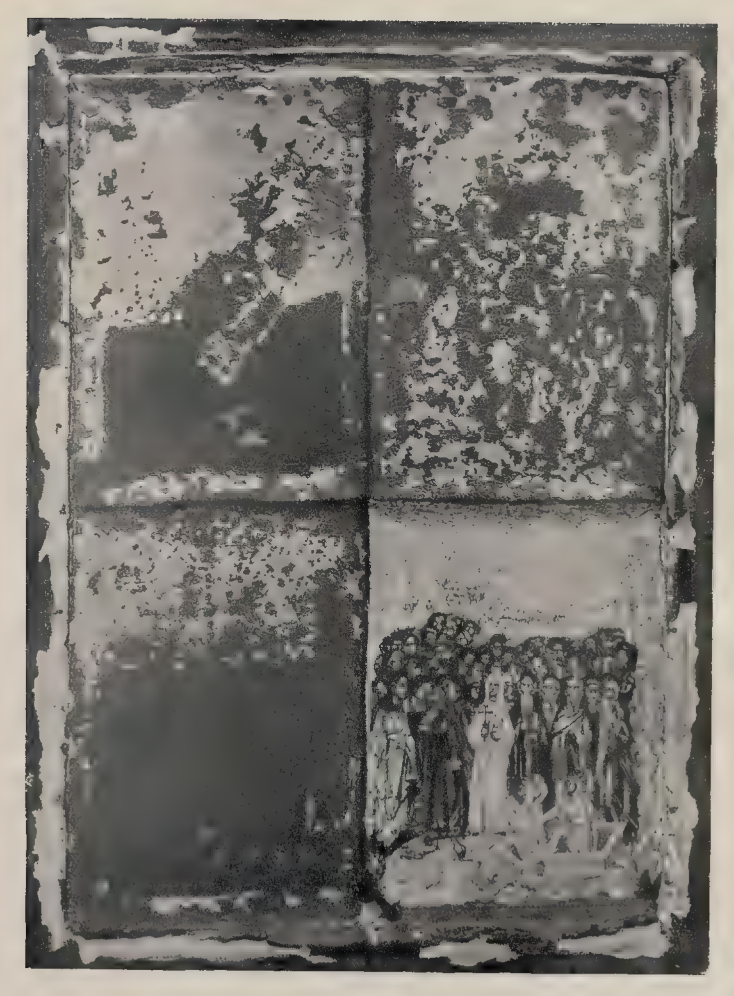


Рис. 3. Четырехчастная икона XVI века с одним расчищенным клеймом



Рис. 4. Икона Владимирской богоматери. Наслоения от XI до XVI века



Рис. 5. Икона Владимирской богоматери. Живопись голов относится к XI веку



Рис. 6. «Мадонна из Нижнего Тагила», после реставрации

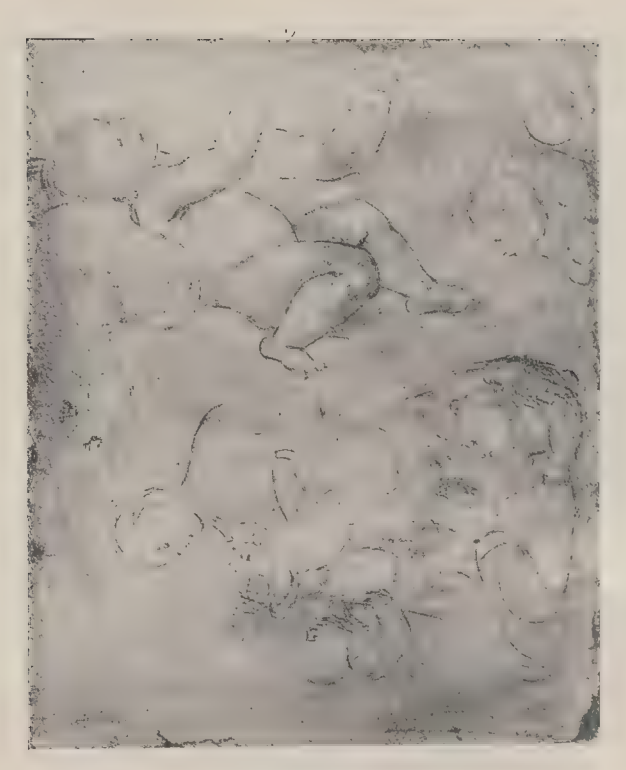


Рис. 7. Рафаэль. Рисунок для «Мадонны дель Пополо» в Миланском музее



Рис. 8. «Младенец Иисус». Деталь картины «Мадонна из Нижнего Тагила», до реставрации



Рис. 9. «Мадонна из Нижнего Тагила», до реставрации



Рис. 10. Голова «Мадонны из Нижнего Тагила», до реставрации



Рис. 11. Голова «Мадонны из Нижнего Тагила», после реставрации



Рис. 12. Подпись Рафаэля на одежде Мадонны

Подводя итоги гигантской реставрационной работе, проведенной над памятниками древнерусской живописи, надо помянуть тех, кто 30 лет трудился над ними и кого уже нет в живых, — Г. О. Чирикова, П. И. Юкина, Е. И. и Н. И. Брягиных, а также ныне здравствующих И. А. Баранова, Н. А. Баранова, которому принадлежит честь раскрытия всего Троицкого иконостаса, Ф. А. Модорова, И. И. Суслова, В. О. Кирикова, В. Н. Овчинникова, И. Я. Челнокова, Е. А. Домбровскую.

Чем дальше протекала реставрационная практика, тем больше накапливалось научных достижений и — что важнее всего — первоклассных памятников древнерусской живописи. Одновременно совершенствовалась и реставрационная методика, техника раскрытия памятников. Мы начали ставить перед собой задачи такой сложности и ответственности, о какой раньше не отваживались и думать. К ним прежде всего относится проблема расслоения живописи, удачное решение которой обещает произвести полный переворот в реставрационном деле.

В самом деле, какие горизонты открылись бы перед нами, если бы вместо того, чтобы уничтожать верхние слои, мы могли бы все их снимать, сохраняя слой за слоем на особых щитах!

Такая задача была поставлена перед реставраторами мастерских, и после ряда опытов в этом направлении были достигнуты весьма существенные результаты. П. И. Юкин, специализировавшийся главным образом на фресках, добился исключительных успехов не только в снимании фресок со стен и переводе их на новый материал, могущий экспонироваться в любом музее, — что было достигнуто и в Италии, — но и в расслоении фресок разных веков. Ему удалось снять слой XVII века, отделив его от нижележащего слоя XVI века, который он вслед за тем также снимал, перенося на особый щит.

Много было достигнуто также в области применения рентгенизации художественных произведений, с целью исследования скрытых нижних слоев. Но реставрацией древнерусской живописи не ограничивалась деятельность мастерских, — в них реставрировались и произведения великих западноевропейских мастеров, от поры до времени привозившиеся экспедициями, которые направлялись в различные местности страны с целью учета и охраны памятников. Реставрация привела также и

к ряду больших историко-художественных открытий, и на некоторых из них следует остановиться.

В Третьяковской галлерее еще со времен П. М. Третьякова висела небольшая всем известная картина, изображающая мальчика-живописца, пишущего портрет своей сестренки, сидящей перед ним на стуле. Рядом с девочкой стоит мать, дающая ей знак сидеть смирно.

Картина считалась произведением Лосенко, подпись которого вместе с датой «1756» была видна на ящике с красками. Так как мне удалось разыскать в архиве Академии Художеств письмо И. И. Шувалова директору Академии, датированное 1754 годом, с просьбой принять в обучение трех мальчиков — певчих придворного хора, спавших с голоса, и в числе их Лосенко, то я усомнился, чтобы через два года после поступления в Академию он мог создать одну из лучших жанровых картин всей тогдашней Европы. К тому же дата — 1756 — была явно поддельной, так как приходилась на выпаде краски и новом левкасе, да и сама подпись производила впечатление сомнительной с точки зрения чисто палеографической.

Встав с 1913 г. во главе Третьяковской галлереи, я принялся исследовать эту подпись с целью выяснения, нет ли под ней другой, подлинной. Эта попытка увенчалась успехом: художник оказался тоже русским мастером — Иваном Фирсовым.

Так реставрационным приемом удалось открыть подлинное имя автора замечательной русской картины.

Остановимся теперь на открытии прославленной некогда картины Рафаэля «Мадонна дель Пополо», исполненной в первые годы пребывания художника в Ватикане у папы Юлия II (рис. 6).

Вазари в своем жизнеописании Рафаэля, рассказав о необычайном успехе, выпавшем на долю исполненных им для папы первых фресок, передает следующие подробности о двух других его произведениях того же времени:

«Он, стяжавший уже огромную славу, написал в это время маслом портрет папы Юлия до такой степени жизненно и правдиво, что было жутко смотреть на картину, ибо казалось, что видишь его самого живым; это произведение находится сейчас в церкви Santa Maria del Popolo, вместе с прекраснейшей картиной Мадонны, исполненной в то же самое время, на которой изображено Рождество Христово, где есть Мадонна,

накрывающая сына кисеей; последний до того прекрасен, что как по выражению головы, так и по всему облику сразу видно его божественное происхождение. Не менее младенца прекрасны голова и взгляд самой Мадонны, в которых, наряду с высочайшей красотой, просвечивают приветливость и благочестие. Тут есть и Иосиф, который, опираясь обеими руками на посох и задумчиво углубившись в созерцание царя и царицы небес, стоит с удивлением святого старца; и обе эти картины показываются только по большим праздникам».

Этот рассказ, появившийся в первом издании жизнеописаний знаменитейших живописцев, скульпторов и архитекторов, выпущенном Вазари в 1550 г., повторен им дословно и во втором издании 1568 г.[1] Восемьдесят лет спустя после смерти Вазари в Болонье было выпущено третье издание «Жизнеописаний», в котором вместо слов «это произведение находится сейчас в церкви Santa Maria del Popolo...» значится: «Это произведение находится сейчас у кардинала Сфондрато вместе с прекраснейшей картиной...»[2]

Путем сопоставления ряда разновременных известий, касающихся данной картины и ее последующей судьбы, выясняется, что кардинал Сфондрато, племянник папы Григория XIV, действительно бесцеремонно присвоил себе в 1591 г. обе картины, перенеся их из церкви в свой дом. В 1618 г. Сфондрато умер, и неизвестно, что стало с «Мадонной дель Пополо». Но в разных церквах и храмах начали появляться копии с нее, выдававшиеся за «единственный бесспорный подлинник». Всего их насчитывается в различных музеях и частных собраниях до полусотни, но в конце XIX века уже никто из историков искусства не признавал среди них рафаэлевского оригинала, который считался либо погибшим, либо затерявшимся. Едва ли есть еще другая картина на свете, о которой было бы сплетено столько фантастических легенд, как о «Мадонне дель Пополо». Самое наименование ее было на протяжении веков позабыто и заменено новым: «Madonna di Loretto», «Мадонна из Лоретто», городка на юге Италии, в местном монастыре которого Santa Casa в XVIII веке появилась одна из копий, особо рекламировавшаяся монахами в качестве подлинника Рафаэля и потому вывезенная Наполеоном I в Париж. Она

[1] Джорджо Вазари. Жизнеописания наиболее знаменитых живописцев, ваятелей и зодчих.

[2] Третье издание выпущено в Болонье в 1647 г.

93*

была помещена в Лувре, где ее вскоре признали явной копией и заменили другой, несколько лучшей.

Можно себе представить, какую сенсацию произвело в Москве появившееся в 1925 г. известие о находке в Нижнем Тагиле, в одном из сараев дома бывших владельцев металлургического завода Демидовых, Сан-Донато, картины Рафаэля, по описанию совпадавшей с «Мадонной дель Пополо». В августе 1925 г. я выехал в Тагил, хотя и не придавал особого значения находке, ожидая, в лучшем случае, увидеть еще одну из копий картины. Однако при первом же осмотре ее я убедился, что передо мною во всяком случае произведение XVI века. От директора Тагильского музея я тут же узнал подробности этой необычайной находки.

После революции все национализированные демидовские заводы были объединены в Тагильский металлургический трест. Приводя в порядок брошенное владельцами имущество, заведующий хозяйственной частью треста обнаружил в одной из кладовых какую-то темную доску, принятую им сначала за крышку от стола. Протерев ее сырой тряпкой, он заметил на ее поверхности следы красок, о чем сообщил директору музея А. Н. Словцову. После промывки ее чистой водой на вороте одежды Мадонны проступили золотые буквы: «Raphael Urbinas pin ...» Последние буквы нельзя было разобрать; кроме того, выяснилось, что правой трети картины недостает. Это навело на мысль предпринять поиски недостающей доски, которая спустя несколько месяцев была найдена в давно заброшенном сарае демидовских владений.

Приехав в Тагил, я увидел уже всю картину, склеенную из двух половин, и вывез ее в Реставрационные мастерские, где она и подверглась реставрации.

В процессе реставрации обнаружилось, что картина была не раз жестоко промываема и в отдельных местах ее живопись оказалась счищенной почти до грунта и вновь восстановленной малограмотным художником. Картина являла пример чудовищного разрушения, либо намеренного, либо вызванного использованием доски в качестве столешницы, на которой производились какие-то грубые работы. Во многих местах живопись отпала вместе с грунтом, обнажив доску. Некоторые признаки дают основание утверждать, что картина давно уже была привезена в Россию, по крайней мере около 100—150 лет назад. Так, обе доски были некогда скреплены с оборотной стороны двумя шпонками, вдвинутыми

в глубокие поперечные пазы (вверху — справа налево, внизу — слева направо) типично русским древним техническим приемом. Кроме того, обе доски изрыты многочисленными каналами насекомого-вредителя, так называемого «шашела» (anobium). Эти каналы были встарину залиты горячей олифой — опять древнерусский способ убивать вредителя, также доказывающий давнее пребывание картины в России.

Кто из Демидовых мог привезти в Россию эту картину — «Мадонну из Нижнего Тагила»?

Нижне-Тагильский железный и медноплавильный завод основан в 1725 г. Акинфом Никитичем Демидовым (1678—1745). Сын его Никита Акинфиевич (1724—1789) три года провел в чужих краях, побывал в Амстердаме, Париже и в 1773 г. целый год разъезжал по Италии, где он изучал памятники искусства под руководством знаменитого скульптора Федота Шубина. Он состоял в переписке с Вольтером и издал описание своего путешествия, свидетельствующее о его далеко не поверхностном образовании и изобилующее тонкими и острыми наблюдениями.[1] Его деятельность по собиранию художественных произведений не освещена, но то обстоятельство, что он был избран почетным членом Академии художеств и находился в постоянном общении с художниками, говорит о его художественных интересах. Возможно, что именно он уже привез «Мадонну» из своего путешествия, а если и не он, то во всяком случае его сын Николай Никитич (1773—1828), также много путешествовавший по Европе и обосновавшийся во Флоренции, куда он был назначен русским посланником. Здесь он создал свою знаменитую галлерею, почитавшуюся одной из лучших в Европе и перевезенную его сыном Анатолием Николаевичем (1812—1870) в Петербург. О его собрании П. Свиньин в 1829 г. говорил, что если бы объединить все сокровища искусства, разбросанные в Демидовских собраниях во Флоренции, в Петербурге и Тагиле, то могло бы составиться «единственное богатейшее собрание в свете для частного лица».[2]

---

[1] «Журнал путешествия Н. А. Демидова от 1771 до 1773 г.». М., 1784; К. Головщиков. Род дворян Демидовых. Ярославль, 1881, стр. 138; В. Огарков. Демидовы, основатели горного дела в России. СПб., 1893, стр. 70, 72.

[2] «Воспоминания о тайном советнике Н. Н. Демидове». Отеч. записки, 1829, июль, ч. 41, кн. III, стр. 155—156. Анатолий Демидов, женившись на племяннице Наполеона, дочери Жерома, поселился в своей флорентийской вилле Сан-Донато и получил от папы титул князя.

Так или иначе, но «Мадонна» около 150 лет назад была привезена в Россию одним из Демидовых. Живя постоянно за границей, Демидовы редко наезжали в Россию, и их тагильские управители были полноправными хозяевами как заводов, так и художественных собраний. Последние сильно таяли, понемногу пришли в полное запустение, и в описи картин при Нижне-Тагильском заводе «Мадонна» даже не значится. Видимо, она дошла до такого состояния, что уже не признавалась картиной, чем и объясняется находка ее разрозненных частей в двух разных помещениях среди всякого хлама.

Тщательное сравнение всех известных копий «Мадонны дель Пополо» с тагильской картиной привело меня к убеждению, что последняя и является пропавшим оригиналом. Из Италии он пришел через Францию, о чем свидетельствует написанный слева внизу на простыне герб герцогов Орлеанских — голубое поле с изображенными на нем тремя лилиями, над которыми помещен так называемый «турнирный воротник» (lambel). Герб написан по сильно потемневшему уже лаку, повидимому в XVII веке, как указывает его построение — перспективное, а не прямое, свойственное XVI веку.

В Лилльском музее хранятся два рисунка Рафаэля с набросками обнаженного ребенка нескольких месяцев в позе младенца картины дель Пополо. Особенно близок к последней тот, который мы видим на верхней половине листа бумаги; нижняя половина его занята рисунком к Бриджуотеровской Мадонне (рис. 7). Этот превосходный рисунок целиком повторен в картине, на которой фигура ребенка разработана с чисто рафаэлевской любовью и нежностью (рис. 8).

По счастью, все наиболее существенное в картине в основном не пострадало (рис. 9). Это особенно ясно видно на снимке головы Мадонны, сделанном в день привоза картины в Реставрационные мастерские: целы оба глаза, нос и рот, а пугавшие царапины по лицу оказались лишь в толще лака, почему исчезли после его удаления, не затронув живописи. Остались только следы выпадов краски вместе с грунтом на правой щеке, подбородке и, незначительные, на лбу (рис. 10, 11).

В живописной манере картины, на тех местах, которые сохранились в первоначальном состоянии, мы находим типичные технические приемы Рафаэля. В этом отношении особенно показательна синяя одежда Ма-

донны, исполненная при помощи самой драгоценной краски Ренессанса — натурального горного ультрамарина (lapis lazuli).

Очень важна для аттрибуции и латинская подпись на вороте розово-вишневого хитона, выполненная золотом: Raphael Urbinas pingebat MDIX (Рафаэль Урбинский писал 1509).

Если бы эта подпись была вписана в позднейшие времена, она легко смывалась бы от слабого раствора спирта, тогда как данная подпись не поддавалась длительному воздействию чистого спирта. Но и кроме того латинская форма pingebat получила бы позднее форму pinxit. Палеографически буквы подписи точно отвечают надписям начала XVI века.[1]

Из числа других картин великих западноевропейских мастеров, которые были открыты и реставрированы мастерскими, надо отметить хотя бы только две наиболее значительные: «Се человек» Яна Мостарта (1474—1556) и «Женский портрет» Франса Гальса (1590 — 1666). Первая свыше ста лет находилась в качестве иконы в церкви «Всех скорбящих» на Ордынке в Москве, и путем реставрации на ней удалось выявить новые детали, до того времени записанные, в том числе целую голову превосходного письма; вторая привезена из Смоленского музея, где она значилась работой «неизвестного европейского художника».

Реставрационные работы производились и в ряде центральных музеев — в Эрмитаже, Русском музее, Третьяковской галлерее и Музее изобразительных искусств имени Пушкина. В последнем много работ произвел П. Д. Корин, открывший, в числе других произведений, подлинный женский портрет Рубенса его ранней поры.

Не меньше внимания, чем живописи, Реставрационные мастерские уделяли архитектуре, в области которой были предприняты и осуществлены значительные работы и совершены также немаловажные открытия, несказанно обогатившие наши знания о древнерусском искусстве. Так же как в живописи, основной смысл реставрации памятников архитектуры сводится к их охране, и здесь перед нами еще более настоятельная задача спасения памятника.

---

[1] Игорь Грабарь. Madonna del Popolo Рафаэля и Мадонна из Нижнего Тагила. Второй сборник «Вопросы реставрации», 1928. В настоящее время эта картина находится в запасном фонде Государственного музея изобразительных искусств им. А. С. Пушкина.

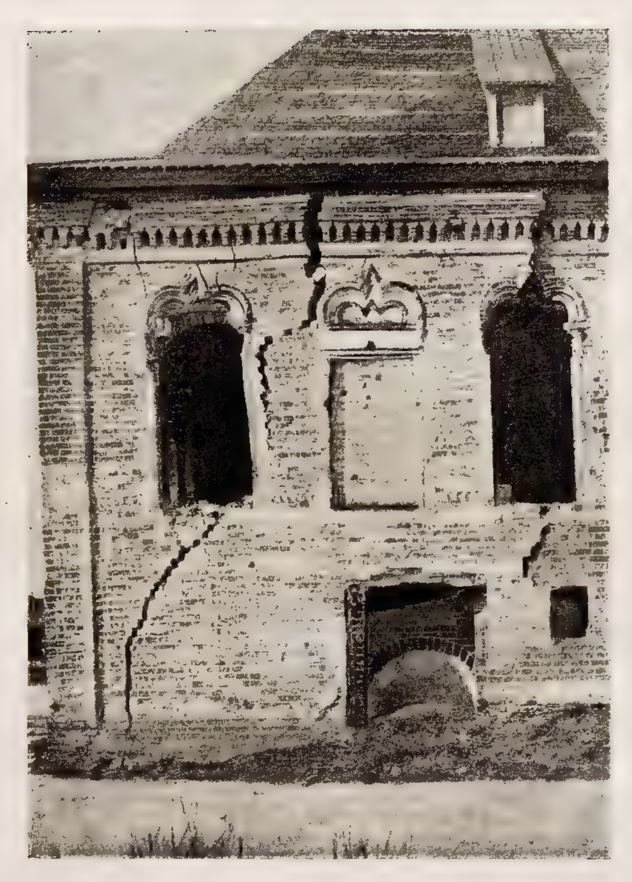


Рис. 13. Дом Ивановых в Ярославле, XVII века, до реставрации

Вот типичный пример, наиболее часто встречающийся в практике. Древнее здание дало угрожающие трещины, как правило — почти всегда вызываемые неумелыми приспособлениями под очередные нужды: подрывом фундамента, удалением деревянных связей, проломом стен, сломкой



Рис. 14. Дом Ивановых в Ярославле, после реставрации

арок для устройства центрального отопления и т. п. Рассевшиеся стены надо вновь соединить, закрепить железными связями, трещины расшить, растесанные окна восстановить, чтобы внутренние помещения не заливались через них водой. По существу все это лишь простейшие, но неизбежные меры охраны. Таким именно образом был спасен известный дом Ивановых в Ярославле (рис. 13, 14), построенный в XVII веке.

Одними из самых сложных и ответственных работ по реставрации памятников архитектуры были те, которые пришлось нам проводить в московском Кремле после Октябрьской революции и особенно в Ярославле после мятежа белогвардейцев. Некоторые памятники грозили ежеминутно рухнуть, и надо было спешно воздвигать временные подпорки,

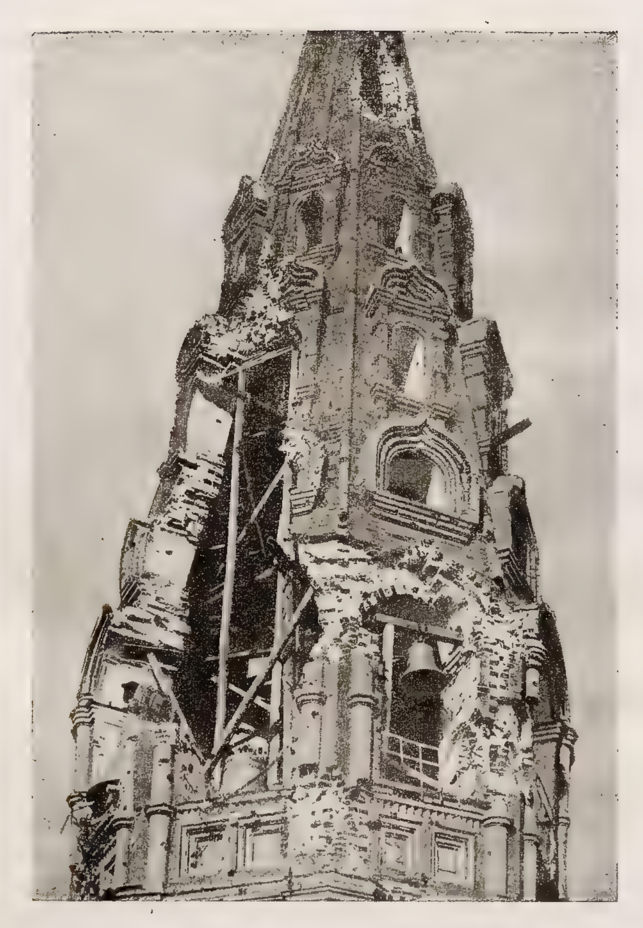


Рис. 15. Колокольня церкви Николы Мокрого в Ярославле, XVII века, до реставрации



Рис. 16. Колокольня церкви Николы Мокрого в Ярославле,
после реставрации

чтобы предотвратить катастрофу. В таком положении находилась колокольня церкви Николы Мокрого в Ярославле, XVII века, в которой были выбиты снарядами две грани восьмерикового шатра (рис. 15).



Рис. 17. Найденное в кладке под штукатуркой древнее окно XVII века, правее и выше нового — XIX века

По общему правилу, восполнения, не основанные на точных данных кладки, недопустимы, являясь домыслами, искажающими памятник, но они необходимы и обязательны в тех случаях, когда заделка брешей представляется единственным средством спасения сооружения (рис. 16). Важно только не поддаваться соблазну архитектурных фантазий. По счастью, при многочисленных перестройках и переделках целых памят-

ников или их отдельных частей, в большинстве случаев архитектор-археолог, обладающий долгим опытом, изучивший кладку разных эпох и наделенный архитектурной интуицией, всегда найдет на месте нового окна, пробитого или растесанного в недавнее время, точные следы древнего окна, скрытые под штукатуркой, и сумеет математически точно



Рис. 18. Дом В. В. Голицына на извозчичьем дворе в старом Охотном ряду

его восстановить. Таким архитектором-эрудитом является у нас П. Д. Барановский, под непосредственным руководством которого произведены все работы по восстановлению разрушенных зданий Ярославля. Им разработана и вся реставрационная методика, ее теория и практика, вытекающие из открытых им законов древнерусского строительства.

Новое время всегда выдвигало новые вкусы, выражавшиеся в усиленном калечении старинных форм, не нравившихся новому поколению.

Архитектурная обработка фасадов безжалостно стесывалась, стены заново штукатурились, и здание приобретало облик совершенно иной, отвечавший вкусам времени. Каким образом на месте нового окна можно найти

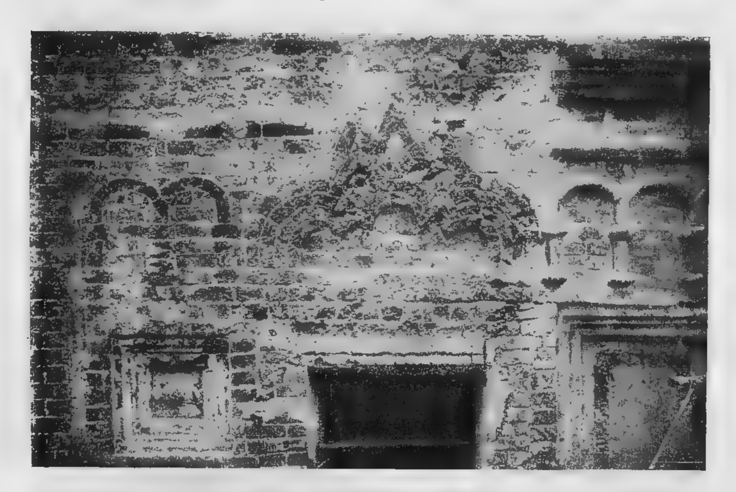


Рис. 19. Дом В. В. Голицына в начале реставрационных работ

древнее окно XVII века, можно видеть в процессе реставрации десятков зданий (рис. 17). Древнее окно всегда оказывается либо правее, либо левее, то выше, то ниже нового. Этим методом была возвращена жизнь многим великолепным произведениям древнерусского зодчества, вандальски искаженным в течение последнего столетия.

На одном из таких зданий, честь открытия и реставрации которого принадлежит также П. Д. Барановскому, следует остановиться особо, принимая во внимание его исключительную историко-художественную ценность. Я имею в виду дом кн. В. В. Голицына, любимца царевны Софьи. Старым москвичам хорошо памятен грязный извозчичий двор в Охотном ряду и стоявший там нескладный, нелепый с виду, двухэтаж-

пый дом (рис. 18). Пробная отбивка штукатурки обнаружила, что повсюду в кирпиче сохранилась кладка архитектурного убранства — наличники окон и дверей, узорные пояса, орнаментальная аркатура, обилие богато



Рис. 20. Следы коруны окна и аркатурного пояса в кладке стены дома В. В. Голицына

украшенных колонн и колонок по всему фасаду (рис. 19). Хотя весь этот богатейший кирпичный декор был давно стесан, но рисунок его уцелел в кладке, а вынос каждого кирпича диктовался его концом в глубине (рис. 20). Это давало возможность с абсолютной точностью восстановить этот интересный памятник архитектуры (рис. 21). Удалось закончить реставрацию всей центральной части фасада и определить систему палат внутри голицынского дома, казавшегося тогдашним москвичам седьмым чудом света (рис. 22). Таким же образом П. Д. Бара-



Рис. 21. Восстановленная коруна и аркатурный пояс на доме В. В. Голицына



Рис. 22. Общий вид восстановленной центральной части дома В. В. Голицына

новским была найдена вся архитектурная обработка дома ближайшего соседа Голицына — кн. И. Б. Троекурова.

Но самым потрясающим открытием Барановского было то, которое он сделал недавно в Чернигове, ибо оно опровергает все представления о развитии древнерусского зодчества, твердо установившиеся в русской дореволюционной науке.

До сих пор считалось, что кокошники, игравшие столь большую роль в нашей древней архитектуре, появились впервые лишь в XV в. Восстанавливая разрушенный фашистскими захватчиками собор бывшего Пятницкого монастыря в Чернигове, Барановский открыл в нем три ряда кокошников, прием, заставляющий заново пересмотреть наши древнейшие памятники. Исследование о своем замечательном открытии Барановский публикует в выходящем вскоре в свет сборнике Института истории искусств Академии Наук СССР «Памятники русского искусства, разрушенные фашистскими захватчиками».

Каждая из этих работ, как и многие из работ по реставрации памятников живописи, заслуживают того, чтобы им были посвящены специальные монографии; пока же они запечатлены только в докладах их производителей и руководителей на тех 600 заседаниях Ученого совета Центральных реставрационных мастерских, на которых они были заслушаны. Если когда-нибудь они будут опубликованы, эти труды составят десятки объемистых томов не меньшей научной ценности, чем многолетние издания имп. Археологической комиссии и Труды Московского археологического общества.

Советская реставрация, высоко оцениваемая ныне всем миром, чрезвычайно обогатила советскую и мировую науку, расширив исследовательские горизонты и дав человечеству сотни новооткрытых памятников культуры неувядающего значения.

ЯЗЫКОЗНАНИЕ
*
ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Академик

И. И. Мещанинов

РАБОТЫ Н. Я. МАРРА О ЯЗЫКЕ

За истекшие 30 лет значительный сдвиг в области гуманитарных дисциплин отмечается также и в языкознании. На основе марксистско-ленинского мировоззрения эта отрасль знаний подверглась коренным перестройкам. Создалось новое учение о языке, воспитавшее кадры советских языковедов. Новое лингвистическое направление в своем возникновении и развитии теснейшим образом связано с именем выдающегося по своему научному кругозору, по глубине знаний и силе творческой мысли ученого — академика Николая Яковлевича Марра. Почти два десятилетия жизни этого советского ученого с мировым именем падают на исключительно благоприятный для роста научной работы период ее развития уже в СССР.

Еще в начале 20-х годов пытливый ум ученого, не удовлетворенного ни методом работы, ни основными установками воспитавшей его школы, искал выхода из законсервировавшегося и утрачивающего свои творческие силы учения младограмматиков. Такого выхода искали и на Западе. В зарубежной лингвистике постепенно стали вырисовываться новые концепции де-Соссюра и оформляться основные их положения, сложившиеся в целое учение, получившее наименование «социологической школы». В СССР направление научной мысли, сначала робко и неумело, а затем и более уверенно, пошло по другому пути, указанному учением марксизма-ленинизма.

По этому пути повел советское языкознание Н. Я. Марр. Еще в значительной степени тяготея к старым устоям, хотя и не удовлетворяясь ими и стремясь уйти от них, Н. Я. Марр, по им же образно использованному выражению, отошел от одного берега в поисках другого, но еще не видя его.[1] Предстояло охватить все многообразие языков Кавказа, выйти затем на обширное поле изучения колоссального массива языков СССР и пойти далее — навстречу языкам всего мира. Исследование шло в ширину — в изучение вводилось все большее количество современных языков — и в глубину истории, по направлению к начальным периодам становления человеческой речи. Перед нарождавшимся лингвистическим направлением вскрывалась перспектива охвата всего глоттогонического процесса. Конечно, спутников в этом новом пути исследовательских исканий оказалось на первых порах не много. Да и не могло найтись достаточно научных сил, обогащенных знанием материала и воспитанных в направлении, которое только что зарождалось. Но не в этом было основное препятствие. Рост кадров мог из года в год увеличиваться, могла итти и действительно шла воспитательная работа. Препятствие было в другом. Руководящие основы работ, их методологическая сторона еще не были к тому времени в надлежащей степени освоенными.

Период таких неуверенных исканий оказался непродолжительным. Переломный момент наступил уже в 1923 г. Но и тогда еще в основе исследования, несмотря на попытки новаторства, продолжали лежать два старых метода: формально-сравнительный и формально-исторический. Применяемые в новых заданиях и рассматриваемые в связи с этим под иным углом зрения, оба они все же до известной степени сдерживали направление творческой мысли.

Тем не менее, перелом уже совершился. Н. Я. Марр осознавал, что он борется со старыми традициями языковедов. Новое направление придавало исследовательской работе иную целеустремленность. Ознакомление с основами исторического и диалектического материализма уже начало сказываться в это время в его трудах. Сравнение расширялось привлечением языков различных систем. Материалом могло служить разнообразие языков даже одного Кавказа. Выросши на их почве и став кавказоведом, с них и начал Марр.

[1] Предисловие к 1-му выпуску «Яфетического сборника», 1922, стр. I—IV.

Выход за границы Кавказа уже повел к проблематике общего языкознания, направляя исследование в сторону постановки ряда вопросов, объединяемых заданием установления законов единого глоттогонического процесса. Исторический подход дал возможность обосновать эти законы и в итоге дать развернутую картину развития человеческой речи.

Основным тормозом в продвижении исследовательских исканий в этом направлении оказалось традиционное понимание путей исторического движения языков, легшее в основу установленной в XIX веке схемы генеалогической классификации. Изложенному в этой схеме толкованию исторического процесса предстояло объявить решительную борьбу. Успех ее был обусловлен правильным применением марксистского метода.

В 1920 г. Н. Я. Марр еще был на пути преодоления старых концепций. Его стремление к продвижению науки вперед сочеталось с установившимися выводами той школы, правильность основных положений которой им оспаривалась. Такое переходное состояние наиболее ярко выразилось в изданной им в 1920 г. исключительной по своему значению работе, встреченной в свое время сочувственно и даже восторженно.[1] Обширные лингвистические круги приветствовали свежесть мысли, широкий охват материала и смелость научных выводов, но не видели, что в основе всей работы еще сохранялось именно то, от чего стремился отойти сам же Марр.

Подкрепляя свои выводы о единстве языкотворческого процесса многочисленными и исключительно удачно подобранными языковыми фактами, Н. Я. Марр объяснял начала, объединяющие языки, расселением яфетических племен. Таким образом, в конечном итоге, он еще не разрушал укоренившегося понимания поступательного хода развития исторического процесса от праязыка к дальнейшему его разветвлению. Создаваемый Марром яфетический субстрат оказывался все тем же праязыком, хотя бы и построенным на видоизмененных началах. Именно в данный период своих исследовательских исканий Марр выдвинул яфетический субстрат на мировую арену. Углубляя эту схему исторически, он применил ее к начальным периодам становления речи, устанавливая четыре основных лингвистических элемента, четыре изначальных корня,

[1] Н. Я. Марр. Яфетический Кавказ и третий этнический элемент в созидании средиземноморской культуры, 1920.

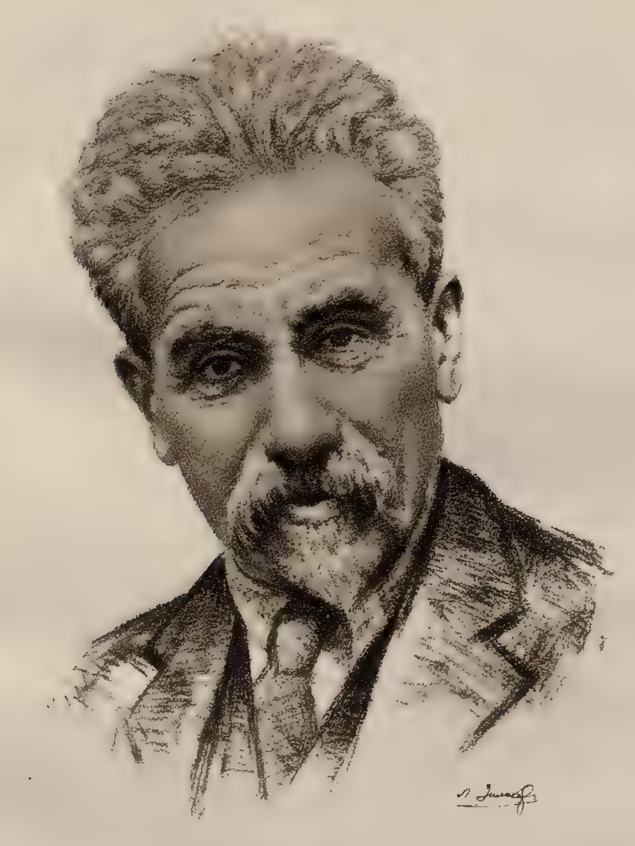
являющихся также и носителями наименований четырех яфетических племен. Развивая свою мысль, Марр утверждал, что эти четыре племени, расселенные по всему земному шару, включая и Америку, заложили основу дальнейшему развитию всех языков, оправдывая тем самым улавливаемые в различных языках элементы сходства, сводимые к единству мировой глоттогонии. Таким образом, праязыковая схема, хотя бы и видоизмененная, все же осталась в силе. Проведенные в новом направлении исследования в своем конечном результате вернулись к своему исходному пункту.

Постигшую неудачу первым понял сам же Марр. Причину ее он увидел в праязыковой схеме, все еще сохраняемой в основе объяснения исторического пути развития языков и устанавливающей движение от единства к множеству их. Эта схема явилась следствием неправильных попыток объяснить поступательный ход истории языков и дала истолкование этого процесса, в корне противоречащее ходу развития общественных форм. Племенной строй первобытной общины обусловливал наличие племенных языков, а не единого языка изначального пранарода. Таким образом, нужно было найти иной метод исторического объяснения фактов, выявляемых на языковом материале.

Прежде всего надлежало отказаться от праязыка как первоисточника существующих группировок языков. С праязыком Н. Я. Марр порывает связь самым решительным образом уже в 1923 г. Дальше сам собою должен был последовать отказ и от четырех изначальных яфетических племен, сводящих исследование, как мы видели выше, к той же праязыковой схеме, хотя бы и в ином виде. Отказ от них в свою очередь должен был привести и к отказу от четырех лингвистических элементов.

На такой путь стали уже последователи Марра после его смерти, молчаливо отказавшись от применения лингвистического анализа по четырем элементам.

Отказ от праязыковой схемы поставил Н. Я. Марра перед необходимостью или отойти от исторического исследования, или же искать других путей к разрешению выдвигаемых проблем. Отход от историзма, конечно, был невозможен. Оставалось перейти на новый путь. Незаменимым оказался здесь метод марксизма-ленинизма. К нему уверенно и пошел Марр, строя языковедческие исследования на основах исторического и диалектического материализма. Начали вырабатываться устои материалистиче-



Н Марр

ского учения о языке, названного сначала яфетической теорией, а затем новым учением о языке.

Смена этих названий, проведенная еще самим Марром, ясно указывает на то, что он уже шел к изменению своих отношений к им же выдвинутому учению об изначальных четырех яфетических племенах. Составляя в 1931 г. статью для Большой советской энциклопедии,[1] Н. Я. Марр, не отступая от своих позиций по отношению к четырем лингвистическим элементам, все же приурочивает термин «яфетический» к определенной системе языков. Это новое высказывание он согласовывал со своими предшествующими выводами, признавая яфетическую систему повсеместно существовавшей, но сохранившейся в настоящее время лишь в отдельных местах: на Кавказе, в Пиренеях, на Памире.

Последующее уточнение содержания данного термина было сделано уже учениками Марра после его смерти. От широкого обозначения первоисточника всех языков термин перешел на более узкое. Им стала называться основная группа языков Кавказа.

Термин «яфетический» в его расширенном понимании не удовлетворял уже и самого Марра, переставшего в своих последних работах называть созданное им лингвистическое направление «яфетическим языкознанием» или «яфетической теорией». Не случайно и в значительной степени по тем же причинам последовало в 1931 г. переименование учрежденного им же лингвистического центра из Яфетического института в Институт языка и мышления — название, сохранившееся за этим учреждением до сего дня. Институт, после смерти Н. Я. Марра, носит почетное имя своего основателя. Новое наименование получил и печатный орган Института. Взамен серии под названием «Яфетический сборник» стала выходить серия «Язык и мышление». Само новое название свидетельствует об усвоении в лингвистической практике высказываний классиков марксизма о языке как реальном сознании.

Эти положения и легли в основу дальнейших языковедческих исследований. Вместо праязыка первоисточником признается множество племенных языков. В связи с этим выдвигается скрещение языков как мощный двигатель идущего процесса развития речи. Генеалогическая классификация в своих выводах, касающихся распределения языков по группам,

[1] Н. Я. Марр. Яфетические языки. Избранные работы, т. I, стр. 290 сл.

продолжает оставаться в силе. Но индоевропейские языки уже не возводятся к единому для них праязыку. Они, по словам Н. Я. Марра, «составляют особую семью, но не расовую, а как порождение особой степени, более сложной, скрещения, вызванной переворотом в общественности в зависимости от новых форм производства, связанных, повидимому, с открытием металлов и широким их использованием в хозяйстве». [1]

Такой вывод вносил существенные изменения в понимание наблюдаемого исторического движения. Впервые в науку внедрялся новый взгляд на поступательный ход развития речи, на последовательную смену одних языковых типов другими и на преемственную связь между ними. Если индоевропейские языки типологически объединяются в одну семью, то все же по материалам лексики и по отдельным конструктивным частям они, по утверждению Н. Я. Марра, выступают продолжателями предшествующих им языков, хотя бы и в видоизмененном состоянии. Отсюда, параллельно скрещению, выдвигается положение о языковом субстрате.

Субстратом, в языковом его понимании, оказываются местные языки до их перехода на новый строй в результате социальных и экономических сдвигов и вызванного ими скрещения ряда языков. Субстрат, в таком его понимании, противопоставляется новому языковому образованию, как предшествующее стадиальное состояние противополагается новому стадиальному же. Таким образом, в разрезе исторических исследований выдвигается проблема стадиальных переходов от одного качественного состояния к другому, с одной ступени языкового развития на другую. В основу такого ступенчатого развития речи ложится, следовательно, социально-экономический фактор.

Став на такую позицию, Н. Я. Марр резко разошелся не только с основными концепциями школы младограмматиков, но и с ей последующим в зарубежной науке социологическим направлением. Последнее, признавая язык явлением социологического порядка и усматривая моменты постоянного движения, доходящего иногда до радикальных изменений формальной стороны, все же замкнуло исторический процесс рамками движения от праязыка до современного его многообразного разветвления.

[1] Индоевропейские языки Средиземноморья. Доклад, зачитанный Н. Я. Марром в ноябре 1923 г. и опубликованный в ДАН СССР, серия В, 1924.

Сопоставление этих двух направлений, зарубежного и советского, ясно указывает на сказавшееся в последнем влияние основных положений исторического и диалектического материализма и на ту положительную роль, какую сыграл вызванный ими отказ от праязыковой схемы.

Устанавливаемый исторический процесс движения общественных форм от первобытной общины к классовым формациям и далее к бесклассовому обществу не оставляет места носителю единой праязыковой речи. Племенные языки образовались из языков родовых ячеек и в свою очередь легли в основу последующих за ними народных и далее национальных языков. Национальные языки не могли возникнуть ранее образования наций, так же как и для развития племенной речи требовалось развитие племенных союзов. Праязык как состояние данного или иного языка, предшествующее образованию определенного другого, уже нового языка, мог иметь место, но это не был праязык в обычном его понимании, а субстрат, или предшествующая стадиальная ступень. Общий же праязык для обширного языкового разветвления трудно себе представить (например, единый индоевропейский праязык). Установление термина «стадия» снимает понимание праязыка во всех случаях.

Социально-экономический сдвиг, обусловивший переход племенных союзов на следующую ступень общественного развития, лег в основу также и соответствующей языковой перестройки, в которой племенная речь оказалась исходным пунктом. Где нет больше племени как такового, не может быть и племенной речи. Если же сопоставлять с нею отдельные диалекты, то следует иметь в виду, что последние не представляют собою племенного языка, а оказываются одним из явлений уже народной речи. К таким утверждениям пришло советское языкознание, но к ним не могли притти зарубежные лингвистические школы, даже последняя из них, подчеркивающая социальный момент в развитии языков.

Язык и общество — одна из основных тем исследовательских работ Н. Я. Марра. Из нее вытекают положения как о единстве языкотворческого процесса, так и о стадиальных, ступенчатых движениях в развитии речи.

Понимание единства глоттогонического процесса, с выдвижением яфетического субстрата, было дано. С отпадением этого субстрата оно должно было значительно измениться. К такому изменению уже подходил и сам Марр.

В 20-х годах, прослеживая повсеместное расселение яфетических племен, Н. Я. Марр считал возможным в значительной мере объяснять им те многочисленные элементы сходства, которые неоднократно и помимо Марра отмечались исследователями в языках самого различного строя. Когда же позднее он стал отходить от подобного рода утверждений и термин «яфетический» начал получать более отвлеченное содержание определенного стадиального состояния, то изначальное единство племенного состава, приведшее к единой глоттогонии, оказалось уже опровергнутым. Вместо него выдвигался другой фактор объединения языков. В работах Н. Я. Марра, относящихся к последним годам его жизни (он умер в 1934 г.), преимущественное внимание уделяется диалектическому единству языка и мышления. Оно постепенно и ложится краеугольным камнем дальнейших исследовательских исканий, направленных на выяснение того же вопроса. Единство языкотворческого процесса стало освещаться под этим углом.

Качественные изменения в структуре языка, образующие ступени в стадиальном движении, оказались, равным образом, одним из основных вопросов, на уточнение которых обратил свое внимание Н. Я. Марр. Преждевременная его кончина оставила этот вопрос недоработанным.

В 1931 г., уже при новом понимании яфетических языков как системы, подобной прометеидской (т. е. индоевропейской), семитической и др., яфетические языки противопоставляются индоевропейским уже как система. Понимания стадии и системы сошлись, и разграничение между ними продолжает оставаться неясным. Система яфетических языков оказывается универсальною. Она представляет собою «особую систему, пережитую языками всех других систем». Казалось бы, что при таком понимании выступает скорее субстрат, чем стадия. Но это повсеместный субстрат, определенная ступень, через которую надлежало пройти всем языкам мира. Поэтому Н. Я. Марр говорит о «стадии яфетической системы», характеризуемой прежде всего синтаксисом.[1]

Нужно полагать, что сам же Марр видел ряд существенных противоречий в высказываемых им утверждениях, повторяющих смешение понятий «система» и «стадия». Выход из этого противоречия он усматривал в том, что яфетические языки, так же как и индоевропейские, семити-

---

[1] См. «Яфетические языки», БСЭ, т. 65, 1931, стр. 827—833.

ческие и другие языковые системы, выявляют, «каждая с большим своеобразием, определенную стадию развития человеческой речи», причем яфетические языки оказываются полистадиальными, «представляя ряд древних стадий языкотворческого процесса, а тем самым и ту стадию, которую в том или ином виде прошел всякий язык до сложения формально-логического мышления».[1] На долю преемников Марра падает задача уточнить высказанные здесь положения.

Конечно, в таком виде проблема стадиальности не может считаться разрешенной. Яфетические языки рассматриваются как полистадиальные, и только поэтому они лежат в основе всех других языков. Но и индоевропейские языки выделяются как носители многих конструктивных частей, сохранившихся от своего предшествующего стадиального состояния. В том же положении оказываются и другие языки. На этом строится вся марровская схема стадиальных переходов. Рассматривая ее в период усиленного внимания к связи языка с мышлением, Н. Я. Марр говорит уже о предложении — мысли, об идеологической установке и формальных выявлениях.[2] При таком положении определенной ступенью в стадиальном движении выступают не яфетические языки сами по себе, а языки, сформировавшиеся до сложения формально-логического мышления. На этом Марр настаивает в последовательной серии своих работ в последние годы жизни, хотя и подходя к той же теме уже в другом разрезе.

Изменения в строе языка Н. Я. Марр обосновывает экономическими и социальными сдвигами в общественной жизни. Эти сдвиги отражались в языке через действующие нормы сознания. Тем самым проблема стадиальности не может разрешаться в отрыве языка от мышления. Сопоставляя позднейшие работы Марра с его же предыдущими, можно и в последних видеть ту же ведущую мысль. Действительно, если индоевропейские языки оформились в результате определенного сдвига в хозяйстве и общественном строе и тем самым перешли на другое стадиальное состояние, и если они в процессе перестройки отошли от той стадии, «которую в том или ином виде прошел всякий язык до сложения формально-логического мышления», то, естественно, напрашивается вывод о том, что стадиальные переходы находятся в теснейшей связи с теми изменениями, которые

[1] Там же, стр. 833.
[2] Там же.

происходят в действующих нормах сознания. Здесь и находит свое оправдание высказанное Марром положение об отражении в языке социальных сдвигов через мышление и о диалектическом единстве языка и мышления.

Проблема стадиальности, поставленная Н. Я. Марром и детально им изучавшаяся, сыграла решающую роль во всей постановке его учения о языке. Выдвижение этой проблемы и опыты ее разрешения, шедшие различными путями, привели в окончательном итоге к укреплению основного положения о связи языка с мышлением. К этому же должна была привести установленная Марром во всех его работах связь между формой и содержанием. Она прослеживалась и в семантике слов, и в функциональной значимости словообразующих аффиксов, и, наконец, в смысловом значении проводимых в предложении сочетаний слов. Тем самым Марр приближался к рассмотрению с той же точки зрения ведущих особенностей синтаксических построений.

В основу исторических исследований Н. Я. Марр, в первую очередь, положил семантику слов, остававшуюся наименее изученною в ее историческом разрезе. Устанавливая во всех словах социальную их значимость и прослеживая исторически обусловленную смену значений слов, он выдвинул положение о семантическом движении слова по выполняемому им назначению в его социальном использовании. На обширном лингвистическом материале прослеживался переход одного и того же слова с одного обозначаемого им предмета на другой по тождеству их функций. Еще в 1926 г. Марр детально обосновал свои взгляды в работе, посвященной средствам передвижения, орудиям самозащиты и производства в доистории.[1] На таких примерах, как переход названия по различным видам животных (собака, олень, лошадь и т. д.), ясно подтверждалась основная мысль ученого и обосновывался исторический ход термина, переходящего с одного транспортного животного на другое в зависимости от их смены по выполнению одной и той же функции средств передвижения. Привлекаемый материал из различных языков подтвердил реальность устанавливаемого Марром закона функциональной семантики.

По той же линии функциональной значимости слова устанавливалось его движение и в синтаксическом использовании. Полнозначимое слово

[1] Известия Кавказского историко-археологического института, 1926.

получало в предложении служебную значимость, отмечая смысловой оттенок, придаваемый другому слову в его конкретизируемом положении во фразе. Закрепившаяся служебная роль может вести к изменению формальной стороны. Появляются уже аффиксы в значении морфологических показателей. Их прошлое, восходящее к самостоятельному значимому слову, прослеживается в ряде языков, в особенности в языках, сохраняющих агглютинативный строй. Здесь равным образом можно усмотреть действие того же закона функциональной семантики, хотя и в ином его разрезе, а именно в части морфологического оформления слова. То же синтаксическое назначение выполняет уже не слово, а служебная частица; мы наблюдаем здесь не только изменение в формальной стороне самого слова, обратившегося в аффикс, но также и изменение в строе языка, что в итоге ведет от аморфного состояния к более или менее развернутой морфологии. Меняется вся структура языка, переходящая на новую ступень. Такие переходы с одного качественного состояния на другое дают основание к их стадиальному анализу, если они охватывают всю структуру языка. Если же такого рода изменения прослеживаются в истории слова, как в его семантических переходах, так и в смене грамматических форм, то в исследовательской работе выступает палеонтологический анализ.

Палеонтологическому анализу придается Н. Я. Марром исключительное значение. Стремясь охватить весь процесс глоттогонии, он сделал попытку спуститься в глубь истории до начальных периодов становления человеческой речи включительно. Надлежащий материал он искал в архаизмах, уцелевших в языке в исторически засвидетельствованных его периодах. Прежде всего внимание обратилось к топонимическим и этническим названиям. Устанавливая по ним схождения имен и социальной единицы (племенной, родовой, дородовой) с наименованием места обитания, заселения или района кочевания, Н. Я. Марр в результате формального анализа собранного весьма обширного материала пришел к выделению упомянутых выше сначала двенадцати, затем семи и, наконец, четырех изначальных корнеслов. С них он и начал прослеживание исторически обусловленных изменений в жизни слова. Для этого требовалось установить то назначение, которое придавалось ему общественной практикой в различные эпохи пережитой истории.

В целях уточнения социальной значимости слова во всех доступных изучению периодах истории нужно было выявить его материальное значение в сложной роли языка как непременного средства общения. Надлежало установить облик пользующейся речью общественной среды, материальные условия ее существования и вызванное ими мировоззрение в различных выявлениях действующих норм сознания. В этих целях к исследовательской работе над языковым материалом стали широко привлекаться данные истории материальной культуры и этнографии. В результате работ в этом направлении самый язык обратился в исторический источник первостепенного значения.

Язык не создавался сам собою: его создавала и его же видоизменяла соответствующая общественная среда. Общественный фактор нужно было понять, чтобы выявить социальную сущность языка. Для этого один языковый материал оказывался уже недостаточным. Наоборот, в комплексе с другими данными и он приобретал значение исторического свидетеля, а его собственные факты получали свое историческое обоснование, к чему и стремится лингвист. Этим целям содействовало привлечение народного творчества, материального и духовного. Классики марксизма в своих исторических работах широко использовали этнографические источники. Тот же путь, естественно, стоял и перед языковедом как подлинным социологом-историком. Этого не могли понять даже лучшие представители зарубежного языкознания, даже те из них, которые причисляли себя к последователям нового лингвистического направления, именуемого «социологическою школою». Они бросали Марру обвинение в том, что он «примешивает этнографию к лингвистике».[1]

Палеонтологический анализ по упомянутым выше четырем элементам отпал еще десять лет назад, как не соответствующий основным положениям этого анализа. Палеонтологический подход к языку предусматривает качественные в нем сдвиги. Этим последним должны были подвергнуться и изначальные корнеслова. В поступательном ходе исторического процесса они обратились в основы разросшегося состава слов. При таких условиях упомянутые четыре элемента могли оказаться действующими

[1] См. Revue Celtique, v. XLI, 1924, № 1—2, p. 392. Интересно отметить, что сам же Вандриес, автор данного обвинения, не отрицает влияния этнографических исследований Леви-Брюля на свои лингвистические построения, что им же отмечается в предисловии к его работе «Язык», русский перевод 1937 г.

только в определенном периоде развития человеческой речи. Эти начальные ее периоды интенсивно изучались самим Марром. Последователи его за истекшие 10—15 лет сосредоточили свои работы преимущественно над исторически зафиксированными языками письменной и устной речи и в особенности над современным их состоянием. В такие рамки и заключился палеонтологический анализ, ограниченный прослеживанием наблюдаемого движения языковых форм в каждом отдельном языке и в сравнительных сопоставлениях идущего процесса по отдельным, разносистемным группам языков.

На этой почве уточнялся также и применяемый языковедами сравнительный метод. Углубляемое Н. Я. Марром изучение основ единого глоттогонического процесса непосредственно вело к расширению сравнительных сопоставлений. Сравнительным историческим методом пользуются обыкновенно при изучении материалов отдельной семьи языков. Наиболее разработанными с этой стороны оказались индоевропейские языки. Единство глоттогонического процесса вело, конечно, к расширению границ исследования с охватом, в перспективе, всех языков. В особенности ценными оказались сравнения действующих норм в языках разных систем. В них одинаковые категории получают различные формальные показатели не только в морфологическом строении, но и в синтаксических построениях. Понятия субстанции, аттрибутивности и т. д., выступающие во всех языках, крайне разнообразятся по отдельным языковым системам и даже по отдельным языкам в их формальном, грамматическом строе. Тождественные по выполняемой функции, они в сравнительных сопоставлениях выявляют многообразие внешнего своего выражения в языке. Используются различные способы передачи синтаксических отношений между словами предложения, что отражается на структуре последнего. Такую же служебную функцию синтаксического назначения выполняет и морфологическая сторона, выделяющая слова предметного, предикативного и аттрибутивного значения как по вложенному в них содержанию, так и по их смысловому значению в предложении.

Н. Я. Марр твердо стоял на понимании слова в его коммуникативных функциях. Слово вне потока речи не рассматривается. Участвуя в речи, слово в ней и получает соответствующую ему грамматическую форму. Тем самым каждая грамматическая форма оказывается социально обусловленной. В таком своем положении она и выступает в языке, являясь

носителем определенного социального назначения. На этой почве получается возможность прослеживания законов единства языкотворческого процесса. Этим же объясняется и многообразие грамматической формы, хотя бы и выполняющей одинаковую в различных языках синтаксическую роль. Таким образом, единство глоттогонического процесса изучается в его схождениях и расхождениях, что и легло в основу применяемого Марром сравнительного метода. Им учитывается диалектический ход развития речи: социально обоснованное историческое движение в единстве языка и мышления (понятие и грамматическая форма), а также в качественных переходах с одного содержания и с одной формы на другие (палеонтологический анализ). Тем самым сравнительный метод, согласно учению Марра, должен быть историческим в диалектическом понимании исторического хода развития: диалектическое единство языка и мышления, качественные смены и в действующих нормах сознания и в грамматической форме, как выполняющих социальное задание. Сравнительный метод у Марра не оказался только формально-сравнительным, хотя он и направлен на изучение грамматических построений.

Слово является непременным участником фразы. Вне предложения оно оказывается только в словаре. Всякое исследование его, даже с лексической стороны, неизбежно считается с фразеологическим его использованием, где оно и получает свое оформление. Следовательно, чтобы правильно понять его содержание и форму, необходим учет его возможной роли в предложении. Отсюда Н. Я. Марр делает вывод, что смысловая разбивка предложения на его составные части обусловливает морфологическое выделение группировок слов по частям речи. Раньше, говорит Марр, были члены предложения, а затем появились части речи. [1] Отсюда происходит особое внимание к разновидностям синтаксических построений и к синтаксису вообще.

Синтаксис, наименее изученный всеми предшествующими лингвистическими школами и остающийся до сих пор в том же положении в зарубежной научной литературе, выдвигается в советском языкознании на первое место. Самого Марра одно время обвиняли в том, что он в первую очередь опирается на словарь, оставляя в стороне данные морфологии. [2]

[1] «Почему так трудно стать лингвистом-теоретиком». Языковедение и материализм, 1929, Избранные работы, т. II, стр. 417.

[2] Revue Celtique, v. XLI, 1924, № 1—2, p. 392.

Марр, действительно, обращал большое внимание на словарный состав изучаемых им языков. Но к лексике он подходил с особым заданием. На ней прослеживались как смысловая сторона формы, так и формальное выражение определенного смыслового содержания. И то и другое изучалось в диалектическом движении, в изменениях, схождениях и расхождениях. На анализе лексики, с такой стороны до Марра вовсе не изучавшейся, росли и укреплялись его основные положения о социальной значимости языковых фактов, о палеонтологическом анализе и даже о диалектических устоях сравнительного метода. Лексике, в данном направлении, суждено было сыграть в трудах Марра исключительно плодотворную роль. Что же касается морфологии, будто бы оставляемой им в тени, то этот упрек оказывается необоснованным. Марр никогда не избегал морфологии, но к оформлению слова он подходил со стороны синтаксиса.

Подходя к синтаксису со всем богатством сравнительных сопоставлений, Н. Я. Марр усматривал резкие сдвиги как в строе предложения, так и в построении составляющих его слов. Части речи он относил к числу языковых категорий более позднего происхождения. Их оформление, а следовательно, и выделение, непосредственно связывалось с членением предложения. Первоначально в нем выступает имя в широком понимании этого термина, как используемого в различных синтаксических позициях; с выделением предметных членов предложения субстанционного и аттрибутивного содержания в них вырабатываются имена существительные и прилагательные; сосредоточение предикативных признаков в сказуемом дает основание к образованию глагола и т. д. Наблюдаемые расхождения в формальном выражении выступающих в предложении его членов получают свое отражение и в группировке лексического состава по частям речи. Поэтому в языках различных систем не только нет однообразия в комплексе признаков, характеризующих ту или иную часть речи, но даже и самое деление по частям речи может не совпадать.

Такой расширенный, сравнительный подход к синтаксису нов и исключительно глубок. Он дает основание не только для более правильного понимания языкового строя вообще, но и для более ясного описания конструкций каждого изучаемого языка. На этой почве значительно повышается уровень дескриптивных грамматик. Такое применение сравнительного метода оказалось исключительно плодотворным и в его непосредственно практическом использовании при составлении научных

95*

и даже школьных грамматик. Теоретическая работа сомкнулась с практикой.

В своих теоретических выводах Н. Я. Марр никогда не отрывался от фактического материала. С углубленным применением при исследовательской работе методов исторического и диалектического материализма вся структура языка выходила из рамок узкого формального анализа и становилась многим понятнее, вскрывая ряд своих особенностей, остававшихся незамечаемыми. Вместе с тем углублялось и укреплялось внедряемое в науку новое освещение языковых фактов и исторического хода их развития. Естественно, что первоначально избранный Н. Я. Марром круг кавказских языков становился уже при таком положении узким. Марр постепенно выходит за границы Кавказа. Знание кавказских яфетических языков, а также знакомство с арабским и турецким оказались недостаточными для все растущих интересов ученого, перед которым открывалось широкое поле общего языкознания. Он переходит на изучение финских языков СССР, тюркских, палеоазиатских, привлекая также и иранские, богато представленные на территории нашего Союза. Историческое исследование уводит Марра в сторону классических языков и клинописных языков Передней Азии — шумерского, хеттского и халдского. В том же разрезе исторических интересов привлекаются языки египетский, этрусский и иберский. Затем в сферу его интересов входят языки кельтские, баскский, африканские языки, в особенности берберские. В отдельных исследованиях затрагиваются также американские языки и китайский. Значительное место в работах Марра уделяется русскому языку и языкам Западной Европы.

Материал для сравнительных сопоставлений оказался уже достаточно богатым. Рассматривая его в диалектическом движении исторического процесса, Н. Я. Марр подходил к постановке подытоживающего задания. Создавалась основа для построения стадиально-типологической классификации языков мира. Преждевременная смерть положила конец высоко творческой работе неутомимого советского ученого, оставившего по себе почетную память основателя школы советских языковедов.

Академик

С. П. Обнорский

ПРОИСХОЖДЕНИЕ РУССКОГО ЛИТЕРАТУРНОГО ЯЗЫКА СТАРЕЙШЕЙ ПОРЫ



роисхождение русского литературного языка является центральной проблемой истории русского языка. Еще сто лет назад по этому вопросу высказался И. И. Срезневский, никак специально не аргументируя своего взгляда, и этот взгляд как-то сразу вошел в научный обиход и сохранился в нем до нашего времени. По мнению Срезневского, наш русский литературный язык в своем зарождении был не русским языком, а церковнославянским (древнеболгарским), пришедшим к нам, в связи с принятием христианства, в богатой церковно-богослужебной и иной церковно-религиозной книжности, представлявшей собой перевод с греческого языка на болгарский. Считается, что этот пришлый, книжного типа язык сразу оказался у нас с правами и в роли нашего литературного языка. Для объяснения этого явления Срезневский неоднократно подчеркивает, что именно церковнославянский язык по сравнению с иными славянскими языками был особенно близок к русскому языку. «Всего было легче утверждение старославянского наречия в русской письменности, — читаем мы в «Мыслях об истории русского языка и других славянских наречий» И. И. Срезневского (стр. 76), — потому что русский язык к старославянскому наречию был гораздо ближе всех других наречий славянских и по составу и по строю». В настоящее время это положение для нас, конечно, не может служить аргументом. Все славянские языки

в старую пору (в IX—X веках) были относительно близки друг к другу, каждый вместе с тем характеризуясь совокупностью своих черт применительно ко всем сторонам языка. Вместе с тем именно старославянский язык, как книжный язык, сложившийся на основе переводов, язык жанрово ограниченный, должен был представляться языком далеким в отношении к любому иному живому славянскому языку, в том числе и к языку русскому. Таким образом, с точки зрения высказанного положения о том, что русский литературный язык в своем происхождении был церковнославянским языком, вся дальнейшая его история должна была представляться как длительный процесс постепенного и непрерывного проникновения в него элементов собственно русского языка. Этот общий взгляд на происхождение русского литературного языка стал на последующие десятки лет стереотипным. Он, между прочим, был повторен и крупнейшим современным представителем науки русского языка — академиком А. А. Шахматовым. Должно, однако, заметить, что Шахматов специально проблемами истории русского литературного языка не интересовался и не занимался. Но в лекционном своем курсе современного русского литературного языка, читанном в 1911 г. в Петербургском университете, он в своем введении к курсу должен был коснуться вопроса об образовании русского литературного языка и изложил его в согласии с обычными представлениями своего времени.

Приведенный взгляд на происхождение русского литературного языка, как будто не противоречащий общему представлению исторической обстановки прошлого, мог существовать в старую пору, когда не было четкого, научно расчлененного понятия старославянского языка, с одной стороны, и русского литературного языка старшего периода — с другой. Насколько соотносительно эти понятия были туманными в старой науке русского языка, видно, например, из следующей цитаты из «Мыслей» И. И. Срезневского: «До XIII века язык собственно книжный (т. е. литературный язык) — язык произведений духовных, язык летописей и язык администрации — был один и тот же, до того, что и Слово Луки Жидяты, и Поучение Илариона, и Русскую правду, и Духовную Мономаха, и Слово Даниила Заточника, и Слово о полку Игореве, и Грамоту Мстислава некоторые позволяли себе считать написанными одинаково на наречии не русском, а церковнославянском» (стр. 77). Понятно, что высказанный взгляд на происхождение русского литературного языка с непосредствен-

ным обращением к исследованию собственно литературных памятников старой поры не мог не столкнуться с противоречивым материалом, шедшим от самих памятников.

Десять лет назад, в работе над исследованием языка Русской правды (в так называемой пространной редакции), в исчерпывающем анализе языкового материала памятника, мне пришлось столкнуться с фактом полного отсутствия в тексте Правды церковнославянских наслоений. Этот факт был известен академику А. А. Шахматову и Е. Ф. Карскому (издателю текста Правды по старейшему — Синодальному списку 1282 г.) и остался ими непонятым. Однако Русская правда — памятник слишком большого значения в разных отношениях; неизмеримо его значение и как источника русского литературного языка старшей поры. Данные его языка говорят о многом. Поэтому в работе над языком Русской правды, на вопрос о том, на каком же языке она была написана, не мог не последовать один ответ — что это был русский язык, русский литературный язык старейшей поры.

Анализ языка Русской правды позволил облечь в плоть и кровь понятие этого литературного русского языка старшего периода. Его существенные черты — близость к разговорной стихии речи и полное отсутствие следов взаимодействия с болгарско-византийской культурой.

Отсюда естественно напрашивался вывод о русской основе нашего литературного языка, а соответственно — о позднейшем столкновении с ним церковнославянского языка и вторичности процесса проникновения в него церковнославянских элементов. Это положение, выросшее на основе данных, представляемых Русской правдой, нуждалось в подкреплении на материале иных старейших русских литературных памятников. С этой целью в «Очерках по истории русского литературного языка старшего периода» (М., 1946) мы подвергли тщательному изучению язык основных наших ценнейших памятников, важнейших источников русского литературного языка старейшей поры, а именно: сочинений Владимира Мономаха, Моления Даниила Заточника, Слова о полку Игореве, Русской правды (в краткой ее редакции).

Анализ всех исследованных памятников показывает, что язык их один и тот же — общий русский литературный язык старейшей поры. Сила единого содержания языка всех этих памятников становится особенно значительной, если принять во внимание, что исследованные

памятники охватывают относительно широкий отрезок времени — около двух столетий (от начала XI по конец XII века), принадлежат по своему происхождению к разным пунктам русской территории — и северу, и югу, и средней Руси — и, наконец, являются литературными произведениями, разными по жанру. Можно отметить общие признаки этого, старейшей поры, русского литературного языка. Основной и важнейшей чертой его является общий русский облик, дающий себя знать во всех сторонах языка (и в звуковой стороне, и в морфологии, а особенно в синтаксисе и лексике). Второй общей его чертой служит относительно архаический тип языка, понятный сам по себе ввиду того, что памятники принадлежат к старейшей поре (XI—XII века). Наконец, третьей, также замечательной особенностью языка является очень слабая доля церковнославянского воздействия на него. Замечательно при этом, что незначительная сама по себе доля церковнославянского влияния, по свидетельству непосредственных памятников, колеблется в зависимости от жанра памятника, а также от времени его сложения. Памятники более ранние имеют меньше наслоений церковнославянизмов по сравнению с памятниками позднейшими. В жанровом отношении выделяется Русская правда с полнейшим отсутствием церковнославянизмов; собственно таково же и Слово о полку Игореве. Показательны неодинаковые свидетельства отдельных произведений Владимира Мономаха о церковнославянском воздействии на язык: оно заметно в «Поучении», совсем незначительно в письме Мономаха к Олегу и почти отсутствует в его автобиографии.

Все эти данные, покоящиеся на материале непосредственных памятников, должны служить достаточным основанием для признания ложности старого взгляда на происхождение русского литературного языка как языка в основе нерусского.

Самая мысль эта и теоретически, с разных точек зрения, не может не считаться совершенно неправдоподобной. Уровень русской культуры с ранней поры, еще на заре русской государственности, был очень высок. Мы имеем много разнообразных свидетельств этого. И, конечно, с общим высоким уровнем культуры не могла не быть связана и достаточно сложившаяся культура русского слова уже в раннюю пору. Лучшее свидетельство этого — появление в то отдаленное время таких образцовых произведений языка и художественного творчества, как Слово Илариона, или сочинения Мономаха, или Слово о полку Игореве и др. Конечно,

такие высочайшие образцы языка и творчества не могли бы получиться из ничего и вдруг, если бы до этого у нас уже не упрочилась своя традиция художественного слова, художественного творчества. Все это требует предположения о ранней сложившейся у нас культуре слова.

Нельзя не отметить также, что с ранней поры русская культура во всех своих проявлениях обращает на себя внимание своей самобытностью. Сам русский язык издавна развивался собственным путем. Замечателен факт, что, сталкиваясь в старейшую пору с различными языками, например, финскими, тюркскими, греческим и др., русский язык развивался совершенно самостоятельно и из чужих языков в него проникали лишь изолированные слова. Впрочем, и это наследие почти незаметно. Так, о финских заимствованиях совсем не приходится говорить — настолько незначительно было проникновение их в живой оборот русской речи. При таком выраженном самобытном характере русского языка тем более противоестественной представляется самая возможность мысли о том, чтобы основу русского литературного языка мог составить язык нерусский.

Положение о происхождении русского литературного языка на русской основе имеет большое методологическое значение в дальнейшем изучении русского языка. Стоя на ложном пути, усматривая истоки нашего литературного языка в церковнославянском пришлом языке, мы в изучении русских памятников методологически неправильно и односторонне ставили вопрос о рамках русских элементов в свидетельствах того или иного памятника. Необходимо в равной мере освещать и другой вопрос: о доле церковнославянских элементов, принадлежащих каждому данному памятнику или серии памятников. Тогда на объективную почву исследования будет поставлена общая проблема об истории церковнославянизмов в русском языке, о судьбах церковнославянского языка в развитии русского литературного языка. Это исследование должно объективно показать роль древнеславянизмов в нашем языке, ибо представление об их влиянии у нас преувеличено. Многие церковнославянизмы, свидетельствуемые теми или иными памятниками письменности, имели значение условных, изолированных фактов языка, в систему его не входили, а в дальнейшем вовсе выпали из него, и сравнительно немногие слои их прочно вошли в обиход нашего литературного языка.

Доктор филологических наук

М. А. Цявловский

СОВЕТСКОЕ ПУШКИНОВЕДЕНИЕ

ачало пушкиноведения можно отнести к тому времени, когда Жуковский, в феврале 1837 г., приступил к разбору рукописей Пушкина, а другой друг поэта, Плетнев, написал о нем биографический очерк, напечатанный в X томе «Современника» (1838 г.). С тех пор, за истекшие сто десять лет, Пушкину и его творчеству посвящены сотни книг и многие тысячи статей. В этом колоссальном материале то, что может быть определено как исследование, занимает сравнительно скромное место. Тем не менее, научная пушкиниана весьма велика. Досоветское пушкиноведение представляло собою большое количество работ разного качества, преимущественно по частным вопросам жизни и творчества великого поэта. Ни законченного собрания его сочинений, стоящего на надлежащем научном уровне, ни более или менее полной его биографии тогдашнее пушкиноведение не дало.

Самая замечательная особенность советского пушкиноведения — пропаганда творчества Пушкина среди самых широких читательских масс. Это выражается прежде всего в небывалых в дореволюционной России тиражах как изданий сочинений поэта,[1] так и книг и статей о нем. Кроме

---

[1] За советское время произведения Пушкина переведены почти на все языки (свыше 60-ти) нашего Союза.

того, надо отметить, что советское пушкиноведение не является делом замкнутого круга цеховых ученых. Наука о Пушкине перешагнула у нас пороги кабинетов, архивов и научных библиотек и вышла в массовые аудитории, всякого типа библиотеки, избы-читальни, школы, радиостудии и т. п.

В свете этих важных и в высшей степени отрадных фактов становится совершенно понятным, почему столетняя годовщина со дня гибели поэта, отмечавшаяся в 1937 г., приобрела в нашей стране невиданный по широте размаха всенародный характер. Из многих мероприятий, проведенных в связи с этой годовщиной, нельзя не напомнить о двух замечательных пушкинских выставках в Москве и Ленинграде. Первая из них по количеству и качеству экспонатов, свезенных со всей страны, представляла собою нечто небывалое в этом роде.

☆

Общую оценку достижений советского пушкиноведения удобнее всего сделать по трем разделам: текстология, биография и изучение творчества.

В области текстологии первое, что нужно отметить, это необычайно интенсивное выявление новых автографов великого поэта. О существовании многих из них не подозревали даже лучшие специалисты своего времени. Так, в 1917 г. у внука поэта Григория Александровича Пушкина (1868—1940) обнаружились двадцать две тетради, заключающие в себе около пятисот листов пушкинских автографов. Большая часть этих автографов представляет собой свободно изложенные извлечения из «Деяний Петра Великого» Голикова. Однако некоторые страницы тетрадей можно признать принадлежащими самому Пушкину; они, вероятно, должны были войти в его «Историю Петра Великого» — предсмертную работу поэта, которую, таким образом, удалось узнать только в наши дни.

Советское пушкиноведение обогатилось ценнейшими новыми данными, относящимися и к первоначальному периоду творчества поэта. Были открыты (факт совершенно исключительный в истории русской литературы) две поэмы — «Монах» и «Тень Фонвизина» и баллада фривольного характера, в общей сложности содержащие свыше тысячи стихов Пушкина.

Сенсацию вызвала найденная в 1933 г. в Белграде так называемая «тетрадь Всеволожского», сохранившаяся, к сожалению, в далеко не полном виде. Тетрадь эта является рукописью (писарская копия с многочисленными поправками Пушкина) первого сборника стихотворений Пушкина.[1]

Обнаружению и популяризации новых автографов Пушкина в большой мере способствовала Великая Октябрьская социалистическая революция, повлекшая за собой национализацию дворянских особняков и усадеб. Так, в особняке князей Юсуповых в Ленинграде были обнаружены двадцать семь писем Пушкина к Е. М. Хитрово; в особняке князей Горчаковых — тоже в Ленинграде — нашлись лицейская поэма Пушкина «Монах» и десять других его автографов. К числу вновь открытых автографов нужно отнести и собрание тринадцати автографов Пушкина, принадлежавшее вел. кн. К. К. Романову.

Таким образом, процесс выявления и концентрации подлинных рукописей поэта, давно, казалось бы, закончившийся, в советские годы развивался так интенсивно, как ни в какое дореволюционное тридцатилетие.

Рукописи великого поэта, этот золотой фонд русской культуры, конечно, должны иметь стоящее на высоком уровне научное описание.

Уже описаны ленинградские собрания автографов в книжке «Рукописи Пушкина в собрании Государственной Публичной библиотеки в Ленинграде», составленной Л. Б. Модзалевским (1929 г.), и в образцовом труде Л. Б. Модзалевского и Б. В. Томашевского «Рукописи Пушкина, хранящиеся в Пушкинском Доме» (М. — Л., 1937).[2]

На очереди описание основного фонда автографов — четырнадцати пушкинских рабочих тетрадей и других рукописей, пожертвованных в 1880 г. сыном поэта А. А. Пушкиным в Румянцевский музей.

Кроме названных описаний рукописей было предпринято фототипическое издание рукописей поэта. Первый выпуск этого издания под на-

[1] В 1820 г. рукопись была проиграна Пушкиным в карты его приятелю Всеволожскому, и издание сборника не состоялось.

[2] Нельзя не отметить в этом описании замечательную разработку вопроса о сортах бумаги, которыми пользовался в течение своей жизни поэт. Классификация и подробное описание этих сортов бумаги — их насчитывается 258 номеров — явились, в частности, одним из надежных средств для хронологизации произведений Пушкина. Уже были случаи передатировки по этому признаку стихотворений на целое десятилетие. Имеющиеся в книге классификация и описание сортов бумаги ценны не только для пушкиноведения, но и вообще для изучения документов первой трети XIX века.

званием «Альбом 1833—1835 гг. Тетрадь № 2374 Публичной библиотеки СССР им. В. И. Ленина» вышел в свет в 1939 г. в Гослитиздате. Он заключает в себе три тетради: фототипии, транскрипции и комментарии. Труд этот — прекрасный образец работы пушкинистов-текстологов. К тому же и в полиграфическом отношении «Альбом» нужно признать одним из лучших советских изданий.

Не касаясь обширной области изданий собраний сочинений Пушкина и отдельных его произведений в советские годы, следует все же отметить получившие широкое распространение однотомники под редакцией Б. В. Томашевского, особенно ценные в их последних изданиях, с примечаниями.

Центральным моментом советского пушкиноведения является, несомненно, издание Полного собрания сочинений великого поэта, осуществляемое Академией Наук СССР.

Еще полвека назад, в связи с исполнявшимся в 1899 г. столетним юбилеем со дня рождения поэта, Академией Наук было предпринято издание Полного собрания его сочинений с вариантами и комментариями. За семнадцать лет вышло пять томов. Сверх того, в 1928 и 1929 гг., т. е. с опозданием на двадцать с лишним лет, был выпущен IX том в двух книгах. Это наполовину вышедшее издание, устаревшее и по вошедшим в него материалам и по методу воспроизведения рукописных текстов, справедливо решено было прекратить и на смену ему предпринять новое издание в ином плане.

В 1935 г. вышел VII том нового академического издания, заключающий в себе всю драматургию Пушкина. Кроме основного текста, в том входили обстоятельные комментарии, дававшие историю текста всех произведений, а также историко-литературные исследования и реальные комментарии. Однако по выходе в свет VII тома решено было в этом плане издание не продолжать, а издать — в другом, более роскошном оформлении — только тексты, как основные, так и, исчерпывающим образом, все остальные. Что касается комментария, то предполагается издать его особой серией отдельных томов. Раздел примечаний в этом издании постановлено было ограничить лишь справками об источниках текста и о датировке произведений.

Из восемнадцати томов Собрания сочинений пока вышло в свет девять (в одиннадцати книгах). Остальные томы частью находятся в печати, частью на редакционной доработке.

Первая особенность советского академического издания, отличающая его, может быть, от всех существующих в Европе и Америке подобных изданий классиков (не только художников слова, но и ученых), это исчерпывающая полнота. Такая полнота обеспечивается включением в собрание сочинений не только всех произведений великого поэта, но и всего, что было им написано, разумея под последним письма, дневники, автобиографические записи и разного рода подсобные литературные материалы писателя вплоть до его замечаний на полях книг.

Другой особенностью нового академического издания является воспроизведение в нем всех черновых текстов, сосредоточенных в разделе «Другие редакции и варианты». Этот раздел представляет собой центральную часть всего издания, самую важную в научном отношении.

Огромный труд небольшого числа квалифицированных пушкинистов-текстологов много десятилетий будет красноречиво свидетельствовать об исключительных достижениях советской текстологии, равной которой, как известно, нет ни в одной стране.

Задачей, которую поставили перед собой пушкинисты-текстологи в этом издании, была не простая транскрипция черновых текстов, как это делалось в старом академическом издании (В. Е. Якушкиным и П. О. Морозовым). Такого рода транскрипция с педантичной точностью фиксировала местоположение написанных на странице слов; совсем не обращалось внимание на то, что отдельные словосочетания разбрасывались поэтом случайно, в свободные места, по мере возникновения того или иного варианта. Такая схема не представляет значительной ценности для читателя: воспроизводимый текст является сырым материалом, не осмысленным и не показывающим последовательности в его написании.

В советском академическом издании подход к воспроизведению черновых рукописей принципиально другой. Задачей текстолога здесь является показ процесса творчества.

Новый способ воспроизведения черновых текстов был найден на специальной конференции пушкинистов в 1933 г., посвященной обсуждению плана академического издания Пушкина, после больших и горячих дебатов. Он был предложен С. М. Бонди, который, в сущности, является ведущим текстологом в этом издании.

Особого рода работой является установление текста политических произведений Пушкина («Вольность», «Деревня», «Послание к Чаадаеву»

и т. п.), которые поэт не мог печатать и от которых не дошло авторитетных автографических рукописей. В дореволюционное время тексты этих произведений по традиции печатались преимущественно по зарубежным публикациям Герцена, Огарева и Гербеля, в распоряжении которых находились случайные копии.

Пишущий эти строки в течение тридцати пяти лет собирал тексты этого рода произведений Пушкина в рукописных сборниках и в отдельных копиях, хранящихся в центральных библиотеках и архивохранилищах Москвы и Ленинграда. Критика текста этих копий — работа, аналогичная той, которой в течение многих столетий занимаются специалисты по классической филологии,— позволила с большой степенью достоверности установить подлинный текст, вышедший из-под пера Пушкина. Результаты изучения копий даны в максимально сжатом виде в разделе «Другие редакции и варианты».

О том, как осуществляется редакцией принцип полноты издания, можно судить, например, по X тому, заключающему в себе тексты тех двадцати двух тетрадей извлечений Пушкина из «Деяний Петра Великого» Голикова, о которых уже было сказано выше. Не представляя в большей своей части оригинального текста Пушкина, они развертывают перед нами широкую картину его работы над трудом огромной важности. В этом деле национального значения нельзя не видеть патриотического подвига поэта.

Особенное место в издании занимает XII том. В первой части его помещены дневники, воспоминания и иного рода автобиографические записи, известные и по другим собраниям сочинений Пушкина. Вторая же часть заключает в себе тексты, в подавляющем большинстве не являющиеся п р о и з в е д е н и я м и Пушкина в собственном смысле слова.[1] В ней содержатся самые разнообразные материалы. Этот собранный в одной книге материал дает нам явственное представление о многообразии интересов исключительного в интеллектуальном отношении человека, каким был Пушкин.

Мы видим здесь Пушкина, знакомящегося с такими мало изучаемыми не-специалистами языками, как турецкий, арабский, древнееврейский,

---

[1] Значительная часть таких текстов собрана и опубликована в вышедшей в 1935 г. книге М. Цявловского, Л. Модзалевского и Т. Зенгер — «Рукою Пушкина».

древнегреческий, старофранцузский, испанский, — конечно, главным образом для чтения памятников литературы в подлинниках. Мы читаем здесь пушкинские переводы на французский язык русских народных песен — переводы, которые он в последний год своей жизни сделал для французского писателя Леве-Веймара с целью пропагандировать русскую народную поэзию в Европе. Мы находим здесь любопытнейшие замечания на полях перевода Жуковского Слова о полку Игореве, пометы на полях таких книг, как сборник русских пословиц, и т. п.

Некоторые разделы XII тома заключают в себе материал, имеющий большое значение для характеристики быта Пушкина. В этом отношении особенно интересен раздел приходо-расходных записей с многочисленными списками долгов, свидетельствующими о затруднениях материального характера, которые почти всю свою жизнь испытывал Пушкин.

Обращают на себя внимание свыше ста арифметических подсчетов, рассыпанных по всем черновым рукописям поэта, до сих пор за ничтожными исключениями остававшихся неопубликованными. Смысл подавляющего их большинства до сих пор не разъяснен. XVII том академического издания Пушкина будет заключать в себе фототипическое воспроизведение всех его рисунков (до двух тысяч) с подробным их описанием.

Из рисунков Пушкина, больше половины которых еще не появлялось в печати, особенно интересны его иллюстрации к собственным произведениям (их сохранилось свыше ста), несколько пейзажей и сотни портретов, из которых опознано уже более ста пятидесяти лиц. Среди воспроизводимых зарисовок мы видим исторических деятелей прошлого, как Данте, Вольтер, Мирабо, Наполеон, Робеспьер, Марат. Но, конечно, самое любопытное в рисунках Пушкина — это галлерея его современников: писателей, декабристов, государственных деятелей, знакомых, женщин, которыми увлекался поэт, и т. п.[1]

Во всех томах издания имеются указатели собственных имен и произведений. В них вскрываются и лица, не названные прямо, а также вводятся названия всех литературных и иных произведений, упомянутых в томе.

---

[1] Начало изучению рисунков Пушкина положено работами А. М. Эфроса в книгах «Рисунки поэта» 1930 и 1933 гг.

Таким образом, указатели представляют собой как бы сжатый комментарий к текстам Пушкина. Можно пожелать, чтобы такого рода указатели привились в собраниях сочинений наших писателей и ученых.

Второй коллективной работой пушкинистов является составление словаря Пушкина.

Неоднократно предпринимавшееся начинание это только в 1939 г. было прочно организовано Академией Наук СССР. Инициатором и руководителем этого большого дела был покойный Г. О. Винокур. Тексты Пушкина расписываются по новому академическому изданию в пределах основного его раздела. В настоящее время эта первичная работа близка к концу. В картотеке насчитывается более трехсот тысяч карточек. Кроме этого, разработан — в двух вариантах — чрезвычайно подробный план издания словаря Пушкина. Кстати сказать, это будет первый в нашей стране словарь языка одного писателя.

Как академическое издание сочинений Пушкина, так и издание словаря его языка — дело национального значения, выполняемое, естественно, высшим научным органом страны.

Третьим коллективным мероприятием в области пушкиноведения, осуществляемым Академией Наук СССР, является картотека «Летописи жизни и творчества Пушкина». Работа эта началась в 1939 г. по докладу М. А. Цявловского в Ученом совете Института мировой литературы имени А. М. Горького. Задача картотеки — собрать обширнейший биографический материал, накопившийся за десятилетия в периодических изданиях и в отдельных статьях и заметках. В картотеку введены в кратком пересказе также статьи, заметки и упоминания о поэте и его произведениях, появившиеся при его жизни в печати и имеющиеся в переписке его современников. Коллективом сотрудников под руководством М. А. Цявловского еще до войны было написано свыше двадцати тысяч карточек.

С 1945 г. на основе этой далеко не законченной картотеки Цявловским подготовляется к печати «Летопись жизни и творчества Пушкина», первый том которой (1799—1826) закончен.

☆

Если даже выявление и собирание автографов Пушкина, как мы говорили, нельзя считать законченным, то еще в большей мере это относится к выявлению и собиранию материалов по биографии Пушкина.

Октябрьская революция раскрыла фонды государственных архивохранилищ, остававшиеся в царское время недоступными исследователям. Публикация документов из этих фондов в книгах А. С. Полякова «Дуэль и смерть Пушкина» и Б. Л. Модзалевского «Пушкин под тайным надзором» — ценнейший вклад в политическую биографию поэта. Обнаруженные документы дали полную картину неусыпной политической слежки за Пушкиным и отношения к нему властей во главе с Николаем I. Миф о доброжелательном отношении Николая I к Пушкину, подвергавшийся сильному сомнению еще до революции, после указанных публикаций можно считать окончательно развеянным.

Но публикацией секретных фондов, конечно, нельзя ограничиваться. В области выявления материалов предстоит сделать еще многое. Даже такое, казалось бы, простое и вместе с тем настоятельно необходимое мероприятие, как научное издание всех официальных «дел» о Пушкине, хранящихся в архивах страны, до сих пор не завершено. Кроме того, еще не мало биографических материалов, имеющихся, например, в Пушкинском Доме, остаются неопубликованными. И в других наших архивохранилищах найдутся, конечно, невыявленные документы, относящиеся к жизни и творчеству Пушкина. Здесь всегда возможны самые неожиданные находки, подобные открытию в 1934 г. кишиневского дневника за 1822 г. чиновника канцелярии Инзова кн. П. И. Долгорукова с замечательными записями о Пушкине. Записи эти (общий объем их $^1/_2$ печатного листа), чрезвычайно добросовестно сделанные сейчас же, под свежим впечатлением от речей Пушкина за столом Инзова,— документ исключительной ценности. Без всякого преувеличения эти записи нужно признать самыми значительными политическими высказываниями молодого Пушкина.[1]

Крупным событием является также открытие письма приятеля Пушкина П. А. Катенина к П. В. Анненкову об «Евгении Онегине», где читаем:

«Об осьмой главе Онегина слышал я от покойного в 1832-м году, что сверх Нижегородской ярмонки и Одесской пристани, Евгений видел военные поселения, заведенные гр. Аракчеевым, и тут были замечания,

---

[1] Записи из дневника Долгорукова, относящиеся к Пушкину, напечатаны в ряде газет и в журнале «Новый мир». Полностью дневник, приготовленный к печати М. А. Цявловским для тома «Летописей Государственного литературного музея», под общей редакцией В. Д. Бонч-Бруевича, должен выйти из печати в 1948 г.

суждения, выражения, слишком резкие для обнародования, и потому он рассудил за благо предать их вечному забвению и вместе выкинуть из повести всю главу, без них слишком короткую и как бы оскудевшую».[1]

Это свидетельство говорит о связи восьмой главы с уничтоженной поэтом десятой главой, которая по своему содержанию может быть названа декабристской. Таким образом, становится ясным теперь, какой большой социальной значимости было главное произведение Пушкина.

☆

Переходя к трудам по разработке биографии Пушкина, отметим, что и в наше время продолжалась старая традиция изучения разного рода частных вопросов, эпизодов и т. п. Однако обогащенные фактами, не известными прежним исследователям, и вооруженные марксистско-ленинским методом, советские пушкинисты ведут разработку разного рода вопросов на более высоком научном уровне, чем это было до революции.

Мы имеем, мне кажется, все основания утверждать, что знаем о Пушкине гораздо больше, чем наши предшественники, и понимаем его гораздо глубже и разностороннее, чем они.

Такую тему, как «Пушкин и декабристы», только в наше время можно считать разработанной соответственно ее важности не только для уразумения политической биографии поэта, но и для истории развития освободительных идей в России.

Сложнейшая преддуэльная история, приведшая Пушкина к гибели, во всех своих запутанных перипетиях, вероятно, не может быть выяснена до конца. Но несомненным достижением нашего пушкиноведения является осмысление пресловутого анонимного диплома на звание рогоносца со всеми вытекающими из этого последствиями и, в первую очередь, роли Николая I в преддуэльной истории.

Наряду с разработкой частных вопросов биографии поэта появились и работы общего, синтетического характера. Это, во-первых, самая обширная биография Пушкина, написанная Н. Л. Бродским (1937 г.), в которой превалирует образ Пушкина как замечательного представителя свободомыслящих кругов дворянства; затем — не лишенная черт некоторой беллетризации биография, принадлежащая Л. П. Гроссману (1939 г.),

[1] Литературный критик, 1940, № 7—8, стр. 231.

96*

который явно поставил себе задачу дать в биографическом плане преимущественно творческий путь поэта. Пушкина как человека изобразил в своей работе Г. И. Чулков (1938 г.), книга которого, к сожалению, вышла не в полном виде: остались ненапечатанными комментарии, представляющие собой этюды по отдельным вопросам биографии. Отметим еще очень дельно составленный биографический очерк о Пушкине, написанный А. Л. Слонимским, открывающий трехтомное собрание стихотворных произведений Пушкина (т. I, 1940) в издании «Советский писатель» (серия «Библиотека поэта»).

Продолжала развиваться и особая отрасль биографического пушкиноведения — отрасль, которую можно назвать краеведческим пушкиноведением. Работы эти ценны не только своим просветительским характером, но порой и важным фактическим материалом, ускользающим от внимания биографов большого масштаба.

☆

В области изучения языка и стиля Пушкина в дореволюционное время, в сущности, не было сделано ничего значительного в научном отношении. Двумя солидными трудами В. В. Виноградова «Язык Пушкина» (1935 г.) и «Стиль Пушкина» (1938 г.) положено прочное основание этой существенной отрасли изучения творчества Пушкина.

Касаясь многочисленных историко-литературных исследований, надо признать, что наиболее значительными из тем, привлекавших исследователей за советские годы пушкиноведения, оказались темы: «Пушкин — родоначальник русской литературы» и «Мировое значение Пушкина». Первой из них посвящен специальный сборник Института мировой литературы имени А. М. Горького под редакцией Д. Д. Благого и В. Я. Кирпотина, заключающий в себе семнадцать статей.

Огромного значения темы «Пушкин в развитии мировой литературы» и «Мировое значение Пушкина» поставлены только в наши дни.[1] Актуальность этих тем совершенно очевидна.

Таковы в самых общих чертах итоги пушкиноведения за советские годы.

---

[1] В работах М. П. Алексеева и В. И. Нейштадта собран большой, но далеко не исчерпывающий в библиографическом отношении материал для разработки указанных тем.

В ближайшие годы, конечно, будут завершены капитальные коллективные труды по Пушкину, о которых была речь выше. И наряду с этим, будем надеяться, начнется период исследований проблемного характера, которые в настоящее время либо только намечены, либо разрабатываются. К таким большим вопросам историко-литературного характера относятся, например, связь творчества Пушкина с творчеством писателей XVIII века; влияние Пушкина на современных ему писателей; влияние Пушкина на последующие поколения писателей. Нет монографий об отдельных произведениях поэта, начиная с «Евгения Онегина». О стихе Пушкина написано не мало, но еще нет основательной обобщающей работы. Нет и большой, детально разработанной биографии, достойной великого поэта.

Долг пушкинистов — взяться за выполнение этих важных и ответственных задач.

Действительный член АН УССР
Н. К. Гудзий

РАБОТА НАД ЛИТЕРАТУРНЫМ НАСЛЕДСТВОМ ЛЬВА ТОЛСТОГО ЗА ГОДЫ СОВЕТСКОЙ ВЛАСТИ

В течение тридцатилетия, протекшего со времени Великой Октябрьской социалистической революции, Льву Толстому уделялось в советском литературоведении очень много внимания. Особенно плодотворной и интенсивной в этот период была работа по критическому изданию огромного литературного наследства Толстого. Октябрьская революция открыла доступ к архивным собраниям, в которых хранились почти не тронутые до тех пор большие залежи рукописного материала, связанного с творчеством и биографией Толстого. Все возраставший интерес к великому писателю вызвал появление значительного количества мемуарной литературы о нем.

В связи с празднованием в 1928 г. столетия со дня рождения Толстого, еще задолго до этой даты, многообразная работа по Толстому, естественно, усилилась — опять-таки преимущественно в области собирания, упорядочения и публикации его литературного наследства. По сравнению с этой работой, чисто исследовательская работа по изучению творчества Толстого не дала еще таких результатов, которые можно было бы считать прочными и бесспорными достижениями советского литературоведения, особенно принимая во внимание мировое значение Толстого как художника. В литературе о творчестве Толстого, как и в работах, относящихся к другим областям нашего литературоведения, в течение довольно длительного периода сказывались нередко те недостатки и ошибки,

которые проистекали из приверженности некоторых литературоведов к научно несостоятельным методологическим теориям формализма, вульгарного социологизма и пр. С другой стороны, все возраставшая новизна и первостепенное значение в обилии публиковавшегося материала, открывавшего все более широкие перспективы в осмыслении литературного пути Толстого, накопление новых фактов, относящихся к его творчеству, быстро оставляли позади исследовательские изыскания и требовали пересмотра добытых выводов и наблюдений.

Поэтому в данной статье мы ограничиваемся рассмотрением лишь того главного, что сделано в советскую эпоху в области научного издания литературного наследства Толстого и наиболее значительных материалов мемуарного и эпистолярного характера, обогащающих наши сведения о жизни и творчестве Толстого.

Усиленное внимание к творчеству Толстого и интенсивная научная разработка и публикация его текстов в советскую эпоху стимулировались статьями Ленина о Толстом, написанными в 1908 г. в связи с восьмидесятилетием со дня рождения Толстого, и в конце 1910 г. — начале 1911 г. — в связи с его смертью.

Ленин определил Толстого как «зеркало русской революции». «Его мировое значение, как художника, — писал Ленин, — его мировая известность, как мыслителя и проповедника, и то и другое отражает, по-своему, мировое значение русской революции». С именем Толстого Ленин связывает длительную переходную эпоху с 1861 по 1905 год, эпоху подготовки революции, «которая замечательно рельефно отразилась как в его гениальных художественных произведениях, так и в его учении». Толстой, по словам Ленина, «сумел поставить в своих работах столько великих вопросов, сумел подняться до такой художественной силы, что его произведения заняли одно из первых мест в мировой художественной литературе».

Сказать, что мировое значение писателя определяется тем, что он в своем творчестве отразил мировое значение русской революции, значит поставить на необыкновенную высоту исторический смысл его творчества, подчеркнуть его органическую и теснейшую связь с основными движущими силами исторического процесса. Сказать так — значит сказать, что все самое существенное и основное, что направляло ход русской истории и что имело не только национальное, но и всемирное значение, нашло

в творчестве Толстого наиболее полное и мощное свое выражение. Это самая высокая оценка, какая может быть дана писателю, и эта оценка устами Ленина дана была Толстому.

Но процесс подготовки и развития нашей революции был сложным и противоречивым, и это нашло отражение в творчестве Толстого, которое «выражает как раз особенности нашей революции, как к р е с т ь я н с к о й буржуазной революции» (Ленин). Сила и слабость Толстого как мыслителя и проповедника именно были отражением силы и одновременно слабости крестьянского революционного движения и «примитивной крестьянской демократии».

Вскрывая сильные и слабые стороны Толстого-мыслителя и противоречивость его учения, обусловленные историческими условиями развития русского общества, Ленин со всей полнотой определил и те пути, по которым должно итти изучение творчества Толстого во всем его многообразии.

Когда умер Толстой, Ленин писал, что для того, чтобы произведения Толстого стали действительно достоянием всех, «нужен социалистический переворот», что Толстой «дал художественные произведения, которые всегда будут ценимы и читаемы массами, когда они создадут себе человеческие условия жизни, свергнув иго помещиков и капиталистов».

И очень скоро после того как это иго было свергнуто Великой Октябрьской социалистической революцией, осенью 1918 г. по почину Ленина началась подготовка к изданию всего написанного Толстым. При поддержке И. В. Сталина и В. М. Молотова почин Ленина был закреплен постановлением Совета Народных Комиссаров СССР от 24 июня 1925 г. об издании, в связи с предстоявшей в 1928 г. столетней годовщиной рождения Толстого, первого полного собрания его сочинений. Это юбилейное издание, рассчитанное на 95 томов, начало выходить с 1928 г. До войны вышло 38 томов, а затем, по обстоятельствам военного времени, в печатании издания наступил неизбежный перерыв. В настоящее время оно, почти полностью приготовленное к печати, возобновляется. Задача издания — дать научно редактированный, критически проверенный текст всех не только когда-либо опубликованных сочинений Толстого, но и всего того, что еще не было опубликовано, будь то черновые или незавершенные тексты произведений, никогда не появлявшихся в печати, или рукописные редакции и варианты напечатанных ранее произведений,

а также обильный материал дневников, писем, записных книжек Толстого, опубликованный сравнительно лишь в очень небольшой части, притом часто весьма неисправно и со значительными цензурными купюрами.

Текстологической основой для юбилейного издания сочинений Толстого послужил обильный рукописный и корректурный материал его произведений, ставший доступным для исследователей после Октябрьской революции. Он дошел до нас далеко не в полном составе, но все же в таком значительном количестве, что открыл широкие возможности и для установления критического текста уже ранее опубликованных произведений Толстого, и для публикации очень многих новых текстов, еще никогда не видевших света.

Привлечение этого материала позволило устранить не только цензурные искажения, пропуски, переделки, имевшие место при публиковании толстовских текстов в дореволюционное время, но также искажения и ошибки, допускавшиеся большей частью неумышленно, а иногда и сознательно переписчиками черновых рукописей Толстого.

Какую неожиданную помощь в устранении следов цензурного вмешательства в творчество Толстого оказывало привлечение рукописного и корректурного материала его произведений, можно судить наглядно по тому, например, как в юбилейном издании напечатан окончательный текст «Воскресения».

Как известно, «Воскресение» печаталось в течение 1899 г. одновременно в России и в Англии. В России, в журнале «Нива», оно печаталось с большим количеством цензурных исключений и замен, в Англии же (в издательстве В. Г. Черткова «Свободное слово»), как принято было думать до сих пор,— без всяких цензурных изъятий и переделок. Однако ближайшее знакомство с сохранившимися в большом количестве рукописями и корректурами романа убеждает в том, что и издание «Свободного слова» не лишено было значительного числа (более 50) цензурных искажений. Произошло это в результате следующих обстоятельств, сопровождавших печатание «Воскресения» в «Ниве» и в издательстве «Свободное слово». Обычно редакция «Нивы» отправляла Толстому первый набор гранок романа, в которых сама исправляла или зачеркивала синим карандашом те места текста, которые ей представлялись цензурно недопустимыми (редактор журнала Р. И. Сементковский проявлял в этом отношении такое усердие, что вмешательства внешней цензуры в печатание «Воскресе-

ния» совершенно не понадобилось). Толстой правил корректуру, в огромном большинстве случаев не считаясь с исправлениями и зачеркиваниями редакции «Нивы», и В. Г. Черткову посылались в Англию из Москвы или Ясной Поляны дублетные экземпляры корректур, как правило, с неприкосновенным текстом Толстого. Но в отдельных случаях редакция «Нивы» посылала Толстому вторичный набор корректур, в котором уже были совершенно устранены цензурно неприемлемые места, и обратно в редакцию «Нивы» и В. Г. Черткову посылался текст этих новых корректур, в которых отсутствовали всякие видимые следы цензурных искажений. Это было основной причиной того, что в издание «Свободного слова» частично проникли те же цензурные искажения, какие были и в тексте «Нивы».

Вот почему гарантия полной текстуальной точности романа могла быть обеспечена лишь обращением редактора его текста в юбилейном издании непосредственно к корректурам, сверявшимся, где нужно, с рукописями «Воскресения». Корректуры явились единственно надежной основой для установления окончательного текста романа еще и потому, что по разным причинам в «Ниву» и в «Свободное слово» посылались гранки разновременных стадий их авторской правки, а в одном случае вместо последней авторской корректуры (глава XXXVII первой части «Воскресения») была послана корректура предпоследняя.

Толстой многократно исправлял и переделывал написанное им. Почти всегда при переписывании автографов Толстого или исправленных им копий переписчики допускали ошибки, которых Толстой большей частью не замечал, как не замечал и ошибок наборщиков и корректоров. Эти ошибки, множась из копии в копию и из корректуры в корректуру, достигали иногда солидной цифры. Так, например, в первопечатном тексте «Крейцеровой сонаты» допущено было до 200 отступлений от подлинного авторского текста, которые в юбилейном издании устраняются в результате непосредственного обращения к сохранившимся рукописям повести.

Обращение к рукописным и корректурным фондам сочинений Толстого позволило освободить его тексты также и от вмешательства лиц, бравших на себя редакторские функции в отношении толстовских произведений, как это делала, например, С. А. Толстая, исправлявшая иногда эти произведения в угоду своему вкусу, мировоззрению или даже просто настроению.

Толстовские рукописные фонды, использованные в юбилейном издании, содержат огромное количество авторских текстов первостепенной ценности. Частью уже вышли в свет, частью подготовлены к печати дневники Толстого, его письма, записные книжки, черновики художественных произведений и статей, черновые редакции и варианты значительнейших его произведений, известных до тех пор лишь в окончательной печатной редакции. Все это дает исследователю драгоценнейший материал для уяснения жизненного и творческого пути Толстого, в конечном счете — для понимания той «глыбы» (употребляем выражение Ленина), которую представляла собой личность Толстого. Достаточно познакомиться с уже напечатанными черновыми редакциями и вариантами автобиографической трилогии Толстого, «Казаков», «Крейцеровой сонаты» и многих других произведений, не говоря уже о рукописном материале, относящемся к «Анне Карениной» и «Воскресению» (этому материалу отведено по отдельному большому тому на каждый роман), чтобы уразуметь всю сложность творческих исканий Толстого и тот огромный по силе и глубине процесс внутреннего художественного и идейного обогащения, какой сопровождал напряженнейший труд гения, любимейшим героем которого на протяжении всего его писательского пути была, как он сам говорил, правда, на поиски которой затрачивались все его усилия. Этот процесс становится зримым и ощутимым только после знакомства со всем ходом работ Толстого над его произведениями, чему содействуют помещенные в комментариях к томам редакторские статьи, излагающие историю создания каждого произведения и содержащие описание относящихся к нему рукописей и корректур.

Публикация дневников, записных книжек и писем Толстого сопровождается в издании реальным комментарием к ним, в ряде случаев, однако, слишком пространным и излишне скрупулезным, особенно в сообщении биографических данных об адресатах Толстого и в цитации их писем к нему.

Работа над юбилейным изданием сочинений Толстого с самого начала возглавлялась В. Г. Чертковым (до его смерти в 1936 г.), при участии редакторского комитета, состоявшего из специалистов по Толстому, и под наблюдением Государственной редакционной комиссии, после смерти В. Г. Черткова принявшей на себя функции главного редактора. Этот труд предварялся и непрерывно сопровождался большой и сложной работой

по разбору, упорядочению и систематизации всего того огромного рукописного и корректурного материала, который привлечен был к изданию. Материал этот, сплошь и рядом разрозненный и спутанный, хранился главным образом в Москве, в Ленинской библиотеке и Толстовском музее, а также в Ленинграде и других городах, иногда находился у частных лиц, порой — за границей. Его нужно было прежде всего учесть, получить к нему доступ — непосредственно или путем фотокопий, частично его нужно было разыскивать, руководствуясь догадками и соображениями о том, в чьих руках он мог находиться. Необходимо было обнаружить местонахождение подлинников большинства писем Толстого, общее количество которых превышает 10 тысяч, и собрать сведения о его адресатах, часть которых еще здравствовала, разыскать их при помощи адресных столов и другими способами, чтобы получить от них необходимые для комментария справки.

Вся эта работа нашла отражение в вышедших томах, не лишенных недостатков, но все же дающих в руки исследователя богатый, свежий материал для изучения творчества Толстого и его биографии, а поскольку Толстой был центральной литературной фигурой во вторую половину XIX и в начале XX века, — и для всего русского литературного процесса за это время.

Государственное издательство художественной литературы, выпускающее юбилейное издание сочинений Толстого, напечатало тома, в которые вошло огромное большинство его художественных произведений и черновых редакций и вариантов к ним. На очереди опубликование ценнейших рукописных материалов, относящихся к «Войне и миру» и вместе с комментариями к ним рассчитанных на два тома; томов с окончательными текстами «Хаджи Мурата» и «Живого трупа» в сопровождении большого количества их первоначальных вариантов, с художественной и идейной точки зрения очень значительных; тóма, отведенного статьям Толстого по вопросам искусства с трактатом «Что такое искусство?» в центре и с многочисленными черновыми статьями и набросками, написанными на эту тему, и томов, отведенных под дневники, записные книжки и письма Толстого.

В вышедших в свет томах, в комментариях к произведениям, письмам, дневникам Толстого даны лишь чисто фактические пояснения к его текстам. Общая оценка и уяснение его литературного наследства в свете ленинских высказываний о нем еще отсутствуют в наличных томах. Это должно

найти себе место в обстоятельной руководящей статье, в которой осмысливался бы путь Толстого — мыслителя и художника, приведший его к тому, что он стал «зеркалом русской революции». Такая статья должна во всяком случае войти в тот том, в котором будут напечатаны статьи Толстого, связанные с его духовным кризисом конца 70-х — начала 80-х годов, когда его переход на позиции патриархального крестьянства уже вполне определился.

В юбилейный 1928 год в Государственном издательстве начало выходить под редакцией К. И. Халабаева и Б. М. Эйхенбаума 15-томное собрание сочинений Толстого, в которое включены одни лишь художественные произведения. Издание было закончено в 1930 г. В него вошли не только все опубликованные до тех пор романы, повести, рассказы и драматические произведения Толстого, но также — в небольшом количестве — варианты, извлеченные из рукописей и первоначальных журнальных редакций. Цензурные искажения текстов Толстого здесь устранены. Частично окончательные тексты сверены с рукописями. В примечаниях к томам помещены сжатые, но содержательные комментарии В. И. Срезневского, заключающие в себе историю создания каждого вошедшего в издание произведения Толстого. Первому тому предпослана вступительная статья Л. И. Аксельрод-Ортодокс «Толстой», большим и весьма существенным недостатком которой является то, что в ней совершенно не учтены высказывания Ленина о Толстом. В 1928 г. вышло целиком другое издание полного собрания художественных произведений Толстого в 12 томах под редакцией И. И. Гливенко и М. А. Цявловского, в приложении к журналу «Огонек». Сюда, так же как и в только что упомянутое издание, вошли все ранее опубликованные художественные тексты Толстого, также частично сверенные с рукописями и освобожденные от цензурных искажений. В приложении к томам напечатано несколько вариантов и даны очень краткие пояснительные примечания. Первый том открывается вступительной статьей А. В. Луначарского, который в своей трактовке творчества Толстого исходит из положений, высказанных в статьях Ленина. Оба эти издания представляют существенный шаг вперед в деле приобщения широких кругов читателей к художественному наследству Толстого.

Переходим к обозрению изданий, содержащих в себе материалы, относящиеся к творчеству Толстого и его биографии, преимущественно

его неизданные произведения и черновые варианты к ним, дневники, письма, переписку его и воспоминания о нем.

Публикация этих материалов, начавшаяся частично еще в последние годы жизни Толстого, усилившаяся в первые же годы после его смерти, особенно интенсивно продолжалась в советскую эпоху. С 1917 по 1923 г. вышло четыре выпуска издания «Толстой. Памятники творчества и жизни» под общей редакцией В. И. Срезневского. Здесь помещены, между прочим, тексты нескольких, дотоле не опубликованных мелких произведений Толстого, материалы и небольшие по объему варианты к «Воскресению», «Божескому и человеческому», «Хаджи Мурату», письма Толстого и письма к нему, воспоминания о нем. Наибольший интерес представляют публикации: в четвертом выпуске — переписки Толстого с В. П. Боткиным (с 1857 по 1882 г., всего 25 писем, из них 15 — Толстого), хорошо прокомментированной В. И. Срезневским, и в первом выпуске — части очень содержательного дневника А. Б. Гольденвейзера за 1908 и 1909 гг., в котором тщательно зафиксированы факты из жизни Толстого и окружавших его и разговоры с ним на разнообразные темы, в частности литературные и философские. Продолжением этого издания явилось издание Толстовского музея — «Толстой и о Толстом. Новые материалы», выходившие с 1924 по 1928 г. под редакцией В. Г. Черткова и Н. Н. Гусева и составившие четыре сборника. Помимо публикации неизданных текстов Толстого, его переписки и воспоминаний о нем, здесь напечатаны разыскания по истории создания его произведений (особенно ценна в этом плане статья М. А. Цявловского «Как писался и печатался роман «Война и мир»), несколько исследовательских статей о творчестве Толстого и библиографические материалы, из которых библиография произведений Толстого и литературы о нем за 1917—1927 гг., составленная Н. Д. Покровской, занимает почти целиком четвертый сборник. К обоим указанным изданиям примыкает небольшой по объему сборник «Толстой. 1850—1860. Статьи и материалы», изданный в 1927 г. Толстовским музеем Академии Наук СССР под редакцией В. И. Срезневского.

В связи с юбилеем Толстого в 1928 г. вышло несколько солидных изданий, заключающих в себе преимущественно неопубликованные тексты Толстого, письма к нему и воспоминания о нем. Так, в 1928 г., в издании М. и С. Сабашниковых, под редакцией и с примечаниями А. Е. Грузин-

ского и М. А. Цявловского, напечатана переписка Толстого с Тургеневым. К сожалению, до нас дошло пока лишь около половины материала этой переписки, весьма существенной для понимания литературных и житейских отношений двух великих писателей. Из 42 писем Тургенева, вошедших в книгу, впервые полностью напечатано 21 письмо, из семи писем Толстого — два, но почти вся переписка, частью публиковавшаяся ранее по копиям, напечатана здесь по подлинникам. В 1928 г. вышел также юбилейный сборник Государственной Публичной библиотеки СССР «Письма Толстого и к Толстому», в котором впервые напечатаны 14 писем Толстого к другу его, известному государствоведу Б. Н. Чичерину, и 126 писем корреспондентов Толстого — художника Н. Н. Ге, литератора Е. Ф. Корша (в сопровождении письма к нему Толстого), писателей М. Е. Салтыкова, В. А. Соллогуба, Н. С. Лескова, Н. А. Огаревой-Тучковой, профессора и школьного деятеля С. А. Рачинского, публициста М. А. Энгельгардта и Б. Н. Чичерина. Наибольший интерес из писем корреспондентов Толстого представляют письма Лескова (49) и Чичерина (30). Они и количественно превышают письма других корреспондентов.

Юбилейная дата Толстого вызвала появление в свет в 1929 г., в серии трудов Пушкинского Дома Академии Наук СССР, обширной переписки Толстого с художественным критиком В. В. Стасовым, обнимающей длительный период — с 1878 по 1906 г. — год смерти Стасова («Лев Толстой и В. В. Стасов. Переписка. 1878—1906». Редакция и примечания В. Д. Комаровой и Б. Л. Модзалевского, 1929, изд. «Прибой»). Переписка возникла в связи с тем, что Толстой, после знакомства со Стасовым, служившим в петербургской Публичной библиотеке, стал обращаться к нему за разнообразными литературными справками и с просьбами о присылке ему разных книг и материалов, связанных с его литературной работой, преимущественно на исторические темы («Декабристы», «Хаджи Мурат»). Стасов, неизменно восторженно относившийся к Толстому как к художнику и человеку и со свойственной ему экспансивностью обнаруживавший это отношение в своих письмах к нему, с величайшим усердием не только откликался на все запросы Толстого, но и по своей инициативе собирал для него материалы, которые могли пригодиться ему в работе, иногда выписывая их из заграничных библиотек и в своих письмах обстоятельно характеризуя этот материал. Для

исследователя творчества Толстого такие письма представляют большую ценность, помогая ему ориентироваться в вопросах об источниках ряда толстовских произведений. Радикал по своему политическому мировоззрению и последовательный атеист, Стасов с большим сочувствием относился к критическим сторонам учения Толстого, но не соглашался с его религиозно-общественными воззрениями в тех положительных формулировках, какие давались Толстым. Отсюда — его мягкая, деликатная полемика с Толстым, вызвавшая ответные реплики Толстого, представляющие для нас преимущественный интерес. В книгу вошло 97 писем Толстого, 121 письмо Стасова и 36 писем, написанных Стасову чаще всего по поручению Толстого.

Разнообразные материалы, относящиеся к творчеству и жизни Толстого (несколько второстепенных неизданных его произведений, черновые редакции и варианты художественных произведений и публицистических статей Толстого, его переписка, воспоминания о нем и др.), опубликованы в следующих изданиях: «Лев Николаевич Толстой. Юбилейный сборник». Собрал и редактировал Н. Н. Гусев. Гос. изд., М. — Л., 1929 (Труды Гос. Толстовского музея); «Л. Н. Толстой и Н. Н. Ге. Переписка». Вступительная статья и примечания С. П. Яремича. Изд. «Academia», М. — Л., 1930; «Л. Н. Толстой. Неизданные тексты». Редакция и комментарии Н. К. Гудзия и Н. Н. Гусева. Предисловие И. М. Нусинова. Изд. «Academia» — ГИХЛ, 1933 (Труды Гос. Толстовского музея); «Сборник Государственного Толстовского музея» под редакцией Влад. Бонч-Бруевича. ГИХЛ, М., 1937; «Л. Н. Толстой». Редакция Н. Н. Гусева (Летописи Гос. Литературного музея, кн. 2-я), М., 1938; «Л. Н. Толстой». Редакция Н. Л. Мещерякова (Всесоюзная библиотека им. В. И. Ленина. Записки отдела рукописей, вып. IV), Соцэкгиз, М., 1939. Частично материал этих изданий в дальнейшем вошел в соответствующие тома юбилейного издания Полного собрания сочинений Толстого.

Значительным явлением в деле изучения Толстого был выход двух объемистых сборников «Литературного наследства» (тт. 35—36 и 37—38, Издательство АН СССР, М., 1939), целиком посвященных Толстому. Они содержат исследовательские статьи о творчестве Толстого, неизданные его художественные тексты, статьи по вопросам искусства, дневники, письма Толстого и к Толстому, его переписку, воспоминания и сообщения о нем, обзоры, относящиеся к творчеству Толстого и его

биографии. Среди новых толстовских материалов, опубликованных в сборниках и количественно преобладающих в них, нужно прежде всего отметить публикацию новых, дотоле не известных текстов Толстого — его детских сочинений в числе 18 номеров, из которых ранее опубликовано было только два, и 55 рассказов, басен, сказок и научно-популярных статей, предназначенных для «Азбуки» и «Новой азбуки». Существенный интерес представляет публикация обширных рукописных вариантов «Войны и мира», значительно пополняющая сделанное в этом отношении А. Е. Грузинским в его публикации «Новые тексты из «Войны и мира» (Новый мир, 1925, № 5 и 6, перепечатано в трех книжках Библиотеки Огонька, М., 1926), «Анны Карениной» (впоследствии напечатанных в 20-м томе юбилейного издания) и «Хаджи Мурата». Все эти публикации снабжены обстоятельными вступительными статьями, уясняющими основные этапы работы Толстого над этими произведениями, и комментариями к отдельным вариантам (В. С. Спиридонова, Г. А. Волкова, Н. Н. Гусева, Н. К. Гудзия, А. П. Сергеенко). Ценной является подробно прокомментированная Б. М. Энгельгардтом публикация восьми статей Толстого об искусстве, представляющих как бы предварительные этюды к трактату «Что такое искусство?» (две из этих статей были ранее опубликованы А. К. Чертковой в третьем сборнике «Толстой и о Толстом»).

В толстовских сборниках «Литературного наследства» опубликованы также не вошедшие еще в юбилейное издание дневники и записные книжки Толстого. Дневники 1864—1865 гг. содержат интересные записи, касающиеся отношений Толстого к его жене Софье Андреевне и связанные с ранней стадией работы над «Войной и миром»; дневник 1879 г. заключает в себе записи, содержащие впечатления от встреч и разговоров с крестьянами и рабочими во время прогулок Толстого, а также записи отдельных слов и выражений, которые он слышал во время этих встреч и которые частично использовал в своих произведениях; записная книжка 1879—1880 гг. вся заполнена миниатюрными картинами природы, бегло зафиксированными, но поражающими своей зоркостью.

Обильно представлена в этих сборниках и неизданная переписка Толстого. Особенный интерес представляют публикация писем Толстого к Т. А. Ергольской и Н. Н. Страхову и его переписка с Катковым, Фетом и великим князем Николаем Михайловичем. Из прочих материалов более всего останавливают внимание те, которые относятся к истории создания

«Хаджи Мурата» и к семейным отношениям Толстого. Все эти публикации тщательно и обстоятельно прокомментированы.

Попутно здесь уже приходилось касаться мемуарной литературы о Толстом, вышедшей в послереволюционные годы. Тут на первом месте нужно поставить «Воспоминания о Льве Николаевиче Толстом» А. М. Горького, вышедшие первым изданием, отдельной брошюрой, в 1919 г. в издательстве З. И. Гржебина. Они составились из заметок, сделанных Горьким во время его встреч с Толстым в Гаспре в 1901—1902 гг., и из связной записи, сделанной в форме неоконченного письма, написанного под влиянием известия об уходе Толстого из Ясной Поляны и о его смерти. По силе и глубине проникновения в самое существо натуры Толстого и его психического склада, по мастерству его внутренней характеристики эти воспоминания не имеют себе равных в мемуарной литературе о Толстом и вообще принадлежат к числу наиболее выдающихся произведений Горького. Они в высшей степени ценны и с чисто фактической стороны, заключая в себе передачу бесед Толстого и его высказываний по различным вопросам, притом таких, которые в своей совокупности дают самое живое представление о могучей и в то же время противоречивой фигуре русского гения. Недаром, судя по воспоминаниям Горького о Ленине, книжка Горького о Толстом произвела впечатление на Ленина, заставив его лишний раз подчеркнуть необычайную силу Толстого и как художника и как человека. Ленинское положение о глубокой противоречивости Толстого нашло прекрасное подтверждение и на материале воспоминаний Горького.

В книжке Горького мы находим значительное количество записей, хотя и не датированных точно по дням, но сделанных, очевидно, под свежим впечатлением виденного и слышанного Горьким при его общении с Толстым. Кроме воспоминаний Горького, к числу ценных записей, касающихся творчества Толстого, его литературных и философских воззрений и биографии, относятся дневниковые записи А. В. Жиркевича (1890 и 1892 гг.), В. Ф. Лазурского (1894—1900 гг.), В. Г. Черткова (1886—1910 гг.) и П. А. Сергеенко (1898—1906 гг.). Все они опубликованы в тт. 37—38 «Литературного наследства». Обе последние публикации содержат записи бесед Толстого по вопросам литературы и искусства, но и две первые в основном заключают материал, относящийся к той же теме.

Очень содержательна двухтомная книга А. Б. Гольденвейзера «Вблизи Толстого», вышедшая в 1922—1923 гг. и заключающая в себе ранее лишь частично опубликованные дневниковые записи автора, находившегося в близких отношениях с Толстым, за 15 лет — с 1896 г. до последних дней Толстого. Ценны фактическим материалом и «Яснополянские записки» домашнего врача Толстого Д. П. Маковицкого, непрерывно общавшегося с Толстым в течение последних шести лет его жизни. Эти «Записки» велись Маковицким почти ежедневно, с большой обстоятельностью, и составили несколько рукописных томов, хранящихся в рукописном отделении Толстовского музея. К сожалению, издана пока (в 1922—1923 гг.) лишь небольшая часть этих записей — с 25 октября 1904 г. по 9 марта 1905 г. Заслуживают внимания и дневники личного секретаря Толстого Н. Н. Гусева, ведшиеся им в течение двух лет — с сентября 1907 г. по август 1909 г. и представляющие иногда стенографическую запись бесед Толстого. Напечатанные впервые под заглавием «Два года с Л. Н. Толстым» в 1912 г., они под тем же заглавием вышли в 1928 г., в значительно дополненном и исправленном издании.

Существенное значение для изучения биографии и творчества Толстого представляют дневники его жены Софьи Андреевны (за годы 1860—1909), вышедшие в трех выпусках в 1928, 1929 и 1932 гг. под редакцией С. Л. Толстого, с примечаниями С. Л. Толстого и Г. А. Волкова. В них немало субъективного и пристрастного, зависевшего часто от весьма сложных личных отношений супругов и от индивидуальных особенностей самой Софьи Андреевны Толстой, но чисто фактический их материал настолько во многих случаях содержателен, что для работы по Толстому на него можно опираться как на надежный источник. Дополнением к этим дневникам служит автобиография С. А. Толстой, напечатанная в № 1 журнала «Начала» за 1921 г., а также монументальное собрание писем ее к Л. Н. Толстому (общим числом 443), выпущенное издательством «Academia» в 1936 г. под редакцией и с примечаниями А. И. Толстой и П. С. Попова. В соединении с письмами самого Толстого к Софье Андреевне, дважды (в 1913 и 1915 гг.) ею изданными, а затем в более полном виде входящими в юбилейное издание сочинений Толстого (в тт. 83 и 84 этого издания; вышел в свет пока только т. 83), они составляют свод переписки Л. Н. и С. А. Толстых.

Из послереволюционных изданий мемуарной литературы о Толстом, выходивших отдельными книгами, должны быть отмечены «Мои воспоминания» сына Толстого — Ильи Львовича Толстого, напечатанные вторым, значительно дополненным изданием в 1933 г. (первое отдельное их издание вышло в 1914 г.), воспоминания В. М. Величкиной «В голодный год с Львом Толстым» и в особенности воспоминания И. Е. Репина — «Из моих общений с Л. Н. Толстым» (в его книге «Далекое близкое», издательство «Искусство», 1-е изд. — 1937 г., 2-е — 1944 г.), которые, несмотря на некоторые хронологические погрешности, заключающиеся в них, ценны своим живым восприятием личности Толстого и меткостью характеристики его внутреннего облика.

Необходимо упомянуть здесь и некоторые биографические работы о Толстом, поскольку в них не только использованы, но и впервые опубликованы ценные материалы, главным образом письма и дневники Толстого или более или менее обширные извлечения из них, а также извлечения из неизданных воспоминаний о нем.

Так же как и воспоминания о Толстом, биографические работы, ему посвященные, стали появляться еще при его жизни. Тут должна быть названа прежде всего «Биография Льва Николаевича Толстого», написанная другом и единомышленником Толстого — П. И. Бирюковым. Первые два тома этой биографии вышли в 1906—1908 гг.; два следующих, вместе с исправленными и дополненными двумя первыми, — в 1923 г. Значение труда Бирюкова определяется преимущественно тем, что этот труд основан на большом количестве дотоле неизвестных архивных материалов, в том числе неизданных дневников Толстого, его писем и писем к нему. Но неизменное преклонение перед Толстым не только как художником, но и как человеком и мыслителем лишило работу Бирюкова тех элементов критичности, которые должны присутствовать в подлинно научной биографии. Тот же недостаток присущ и двухтомной биографии Толстого, написанной Н. Н. Гусевым и вышедшей в 1927 г. под общим заглавием «Жизнь Льва Николаевича Толстого» (т. 1-й — «Молодой Толстой (1828—1862)», т. 2-й — «Л. Н. Толстой в расцвете художественного гения (1862—1877)»). Количество привлеченного Н. Н. Гусевым рукописного материала, в том числе и черновых редакций произведений Толстого, превышает использованное в этом отношении Бирюковым. Очень солидным и надежным фундаментом для всякой будущей биографии Толстого явится

составленная на огромном материале и с большой тщательностью Н. Н. Гусевым «Летопись жизни и творчества Л. Н. Толстого» (издательство «Academia», 1936). Она очень полезна и для изучения истории создания произведений Толстого, тем более что автор в центре своей работы поставил Толстого-писателя.

Следует отметить также работу К. И. Чуковского «Молодой Толстой» («Звезда», 1930, № 3, 4, 5), в которой впервые опубликовано несколько интересных писем Толстого к критику Дружинину. В 1934 г. эта работа, будучи переделана и расширена, вошла в книгу К. И. Чуковского «Люди и книги шестидесятых годов», в приложении к которой напечатаны 13 впервые опубликованных писем Дружинина к Толстому.

Как видим, за истекшие 30 лет советскими литературоведами сделан немалый вклад в дело критического издания текстов Толстого — его произведений, дневников, писем. Значительна по своему качеству и количеству мемуарная литература о Толстом, вышедшая за эти годы. Несмотря на то, что юбилейное издание его сочинений еще далеко не завершено, оно и в вышедшей своей части дает в руки исследователя творчества и биографии Толстого первостепенный, во многом почти еще не тронутый изучением материал. Значительное количество толстовских материалов, ждущих еще пристального научного использования их, в том числе материалов мемуарного характера, как указано выше, опубликовано в других изданиях, большею частью самостоятельно, частью же в контексте биографических трудов о Толстом.

Профессор
В. А. Десницкий

ИЗУЧЕНИЕ ТВОРЧЕСТВА М. ГОРЬКОГО СОВЕТСКИМ ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕМ

В жизнь молодого Советского государства Максим Горький вошел как участник всех его радостей и невзгод, как пролетарский художник, смысл и значение деятельности которого для дела рабочего класса были признаны В. И. Лениным задолго до пролетарской революции.

Еще до революции 1905 г. передовые рабочие считали М. Горького своим писателем, художником, выражающим чувства и чаяния революционного пролетариата. Яркое выражение этому отношению рабочих к писателю — другу трудящихся дал В. И. Ленин. Уже в 1901 г. для Ленина Горький был великим писателем. В 1909 г., после выхода в свет «Матери», «Врагов» и других произведений Горького, Ленин говорит о его «великих художественных произведениях». В ноябре того же года Ленин пишет Горькому: «Своим талантом художника Вы принесли рабочему движению России — да и не одной России — такую громадную пользу, Вы принесете еще столько пользы...».

Временные расхождения Горького с партией не имели решающего значения ни для его отношения к революции, ни для оценки партией, Лениным, Сталиным исторической роли этого величайшего художника нашей эпохи — как зачинателя искусства новых качеств, основоположника литературы социалистического реализма. В эту пору Владимир Ильич утверждает: «... Горький — безусловно крупнейший представитель

пролетарского искусства, который много для него сделал и еще больше может сделать... Горький — авторитет в деле пролетарского искусства, это бесспорно... В деле пролетарского искусства М. Горький есть громадный *плюс*, несмотря на его сочувствие махизму и отзовизму».

В дни Февральской революции 1917 г., когда Горький сделал ошибочный политический шаг, Ленин, с «горьким чувством» отмечая эту ошибку, в то же время писал: «... Горький — громадный художественный талант, который принес и принесет много пользы всемирному пролетарскому движению».

Благодаря помощи партии, Ленина и Сталина Горький сумел осознать свои ошибки и преодолеть их. Верный сын родины, друг Ленина и Сталина, всю свою творческую энергию он отдал делу строительства культуры коммунизма — делу, которому служил своими художественными произведениями еще задолго до Октября 1917 г.

В первые годы литературной деятельности М. Горького, в буржуазной критике, которая не могла не видеть свежести и силы молодого таланта, господствовало напряженно-сдержанное, подозрительное отношение к социально-политической направленности произведений певца свободы; эти сдержанность и подозрительность превратились в звериную ненависть, когда Горький-художник заявил себя выразителем идей революционного пролетариата («Товарищ», «Мать», «Враги»). В девяностых годах прошлого века произведения молодого художника охотно принимали на страницы своих изданий и «реалисты» из лагеря умеренного либерализма («Русские ведомости»), и «неоромантики» выветрившегося, вылинявшего народничества («Русское богатство»), и воинствующие символисты — выразители настроений империалистической буржуазии («Северный вестник»); но уже в начале нового века только в журнале «Жизнь» и в своем издательстве «Знание» Горький, ожесточенно боровшийся с цензурой, мог печатать то, что хотел.

Постепенно представители всех течений русской буржуазной общественно-политической мысли теряли надежду сделать Горького своим; борьба за Горького превратилась в открытую борьбу против Горького. Для буржуазной критики после революции 1905 г. Горький был «кончен как художник», он — только публицист и притом плохой публицист, заявляли они. Г. В. Плеханов считал Горького великим пролетарским художником, которому для полноты художественного совершенства

необходимо «только» отказаться от большевистской публицистики и стать на меньшевистские позиции.

После победы пролетариата в России меньшевики не оставляли бесплодных надежд привлечь Горького на свою сторону под флагом «пролетарского искусства».

Еще в 1910 г. В. И. Ленин, выступая в «Дискуссионном листке» (приложение к центральному органу «Социал-демократ»), против «впередовцев» (А. Богданов и др.) и резко критикуя их программу, писал: «Всякая фракция социал-демократической партии может законно гордиться принадлежностью к ней Горького, но на этом основании вставлять в *платформу* «пролетарское искусство» значит выдавать этой платформе свидетельство о бедности... Горький — авторитет в деле пролетарского искусства, это бесспорно. Пытаться «использовать» (в идейном, конечно, смысле) *этот* авторитет для укрепления махизма и отзовизма — значит давать *образчик* того, как с *авторитетами* обращаться не следует».[1]

Богдановское понимание «пролетарского искусства» не могло пленить Горького ни в 1910 г., ни, тем более, после Октябрьской революции. Как известно, в пролеткультовском движении — якобы чисто литературном — выразились стремления А. Богданова продолжать политическую борьбу против Ленина и ленинизма, против коммунистической партии. Весьма показательно для Горького, пламенного борца за культуру трудящихся, что не только не удалось вовлечь его в пролеткультовское движение в качестве вождя и вдохновителя, но даже и просто привлечь к этому движению его сочувственное, ободряющее внимание.

Горький советских дней, Горький — художник и публицист, это партийный писатель в ленинском понимании слова. И вполне понятно, что внутренние и зарубежные враги нашей родины, враги Советского государства питали к Горькому поистине звериную злобу. Она и свела Горького без времени в могилу.

Борьба за Горького и против Горького с особенной ясностью показала правильность ленинского учения о партийности литературы. Она показала, что борьба на фронте литературы в конечном счете связана с интересами борющихся классов, как и всякая борьба в области идеологии.

---

[1] В. И. Ленин. Сочинения, т. XIV, изд. 3-е, стр. 298—299.



М. Горький.

Можно сказать, что одним из основных результатов изучения Горького за тридцать лет советской власти явилось утверждение в самой практике литературной науки ленинского принципа партийности литературы. Самые произведения М. Горького, как их понимал автор и воспринимают читатели, могут быть осмыслены только как активное вмешательство художника в общественную жизнь со всеми ее сложными противоречиями. Еще 30 лет назад, в дни Великой пролетарской революции, Горький так осмысливал свою деятельность: «Смысл двадцатипятилетней общественной работы моей, как я понимаю ее, сводится к страстному желанию моему возбудить в людях действенное отношение к жизни».

Не подлежит сомнению, что лучшие произведения советской литературы (А. Толстого, Шолохова, Фадеева, Симонова, Леонова, Серафимовича, Чапыгина и многих других) своей жизненной и эстетической значимостью обязаны прежде всего тому, что авторы их по-горьковски понимали «действенность» литературы и в основном пользовались теми же средствами изобразительности, которыми пользовался, неустанно пропагандируя их, М. Горький. С другой стороны, вдумчивое восприятие текущей литературной действительности заставляет представителей литературной науки изучать жизненный и творческий облик Горького.

☆

Пытаясь подвести итоги достижениям советской литературной науки в области изучения наследия М. Горького, мы не должны скрывать того, что еще слишком многое здесь является не более как декларацией, «заявкой» на постановку темы, инвентаризацией и ориентировочной систематизацией материала.

Еще большая работа предстоит научным работникам, в той или иной мере посвятившим себя изучению произведений и жизни великого пролетарского художника.

Наряду с научными работниками старшего поколения (умерший в 1945 г. Балухатый, Пиксанов, Груздев, автор данной статьи), целая фаланга литературоведов, выросших в советские годы, настойчиво изучала наследие М. Горького. За годы Отечественной войны их ряды поредели: геройской смертью в борьбе за родину пали талантливые молодые ленинградские ученые Олейников (автор содержательной монографии «М. Горький и «Знание»), Канаев, начавший интересное исследование о «Жизни

Клима Самгина», Голубев, Аршавский, Вишневский и другие. На смену ушедшим идут новые силы, выдвигаемые исследовательскими учреждениями и высшими учебными заведениями Москвы, Ленинграда и других городов.

Исследовательская работа по Горькому облегчена тем, что имеются уже весьма обстоятельные библиографические обзоры, чем мы не всегда можем похвалиться, приступая к изучению многих других писателей. С. Д. Балухатому мы обязаны целой серией библиографических работ, без которых не может обойтись ни один специалист по Горькому. Им были выпущены в свет следующие работы, выполненные главным образом в сотрудничестве с К. Д. Муратовой: «Критика о М. Горьком. Библиография статей и книг 1893—1932 гг.» (1934); «Литературная работа М. Горького. Список первопечатных текстов и авторизованных изданий 1892—1934 гг.» (1936); «Литературная работа М. Горького. Дополнительный список первопечатных текстов и авторизованных изданий 1889—1936 гг.» (1941); «Описание рукописей М. Горького. Выпуск I. Художественные произведения» (1936). Ценным пособием является популярная работа С. Д. Балухатого и К. Д. Муратовой «М. Горький. Справочник» (1938). Эти работы уже требуют продолжения, дополнений и поправок, но все же, пока они не заменены другими, только на их основе можно создать новые работы, более отвечающие современному уровню наших знаний о Горьком. Дополнением к библиографическим работам С. Д. Балухатого являются выпущенная в 1940 г. Институтом мировой литературы им. А. М. Горького «Библиография М. Горького. Произведения Горького и литература о Горьком (1936—1937)» и посмертная книга того же автора «Горьковский семинарий», вышедшая в 1946 г.

Огромное значение имеет изучение не только творчества, но и личности Горького. Биография Горького важна не только как история жизни выдающегося человека, она во многом помогает осмыслить его творческие достижения; изучение ее приводит к ряду важных выводов, определяющих место и значение художника слова в нашу эпоху создания культуры бесклассового общества.

Для изучения биографии М. Горького за последнее тридцатилетие сделано не мало, но еще далеко не все, что нужно и можно было сделать. И. А. Груздев, много лет лично общавшийся и переписывавшийся с Горьким и накопивший огромный запас ценнейшего материала (в частности,

писем Горького), дал ряд популярных биографий великого пролетарского художника. При всей точности и обстоятельной документации сведений, приведенных в этих биографиях, при ясности и простоте их изложения досадно то, что они очень бедны фактами советского периода жизни и деятельности писателя; внимание Груздева посвящено главным образом раннему периоду жизни Горького. В 1938 г. Груздевым был выпущен первый том обширной биографии «Горький и его время». Замысел исследователя (дать биографию писателя в связи с событиями в области культуры и литературы его эпохи) заслуживает полного признания. Первый том работы Груздева—ценный и строго научный труд. Однако и здесь изложение останавливается на 1892 г.

Значительный биографический материал, преимущественно мемуарный, накоплен в коллективных или индивидуальных работах, посвященных пребыванию М. Горького в отдельных городах или областях России. Таковы сборники: «М. Горький на родине» (г. Горький, 1937), «Горький в Самаре» (Москва, 1938), «М. Горький в Татаристане» (Казань, 1932), книжка Э. Клейна «Горький в Тифлисе» (Тифлис, 1928) и другие. Нужно пожелать, чтобы подобных изданий появилось больше; они содержат такой материал, которому с каждым годом все больше грозит опасность навсегда исчезнуть: все меньше и меньше становится людей, которые лично знали М. Горького, особенно в ранние годы его жизни. Со смертью этих людей погибают иногда и документы (например, письма), которые они хранили как память о Горьком.

Большинство появившихся пока изданий подобного рода посвящено главным образом тоже ранним периодам жизни М. Горького. В этом есть хорошая сторона, так как далеким годам прежде всего грозит опасность забвения; но для биографии Горького как основоположника и руководителя советской литературы особенно важно было бы накопление и изучение фактов соприкосновения писателя с людьми нашей страны в советские годы.

Много материала для жизненной и творческой биографии накоплено, а отчасти и прокомментировано в «Литературном архиве», издаваемом Институтом литературы Академии Наук СССР (Пушкинский Дом) в серии «М. Горький. Материалы и исследования». Пока вышло три тома: в 1934, 1936 и 1941 гг. Подготовлен четвертый том. Ценность названных сборников—главным образом в публикации переписки Горького с писателями

и другими лицами, так или иначе причастными к литературе. Значение обширнейшего эпистолярного наследия М. Горького исключительно велико. Накопление и изучение этого наследия, начало чему положено этими сборниками, является одной из первоочередных и важнейших предпосылок к созданию полноценной научной биографии Горького.

М. Горький любил переписываться со всеми так или иначе интересовавшими его лицами и этой форме общения с людьми, особенно с собратьями по перу, придавал громадное значение. Зачастую его письма — небольшие трактаты по вопросам искусства и литературы и всегда превосходные образцы эпистолярного стиля, которые воспринимаются как художественные произведения. Нечего и говорить, что все они — одновременно и документы биографии Горького и страницы истории русской культуры. Из многих тысяч писем Горького сохранилось далеко не все, еще менее собрано и зарегистрировано и совсем мало опубликовано в соответствии с элементарными научными требованиями.

Институт мировой литературы имени А. М. Горького Академии Наук СССР выпускает подобного же типа издания, публикуя преимущественно неизданные рукописи писателя, хранящиеся в архиве Горького. Так, в первом томе «Архива А. М. Горького» опубликованы конспекты лекций по русской литературе, читанных Горьким слушателям Каприйской школы первого созыва. Эти лекции вводят нас в круг историко-литературных интересов Горького (лекции читались в 1909 г.) и показывают нам его как пропагандиста. Богатый материал дают и «Горьковские чтения» Института мировой литературы, вышедшие в 1940 г.; здесь опубликовано по рукописи Горького «Изложение фактов и дум, от взаимодействия которых отсохли лучшие куски моего сердца» — важнейший документ из биографии и раннего творчества писателя (1893 г.), а также первая редакция философской поэмы «Человек». Остается пожелать, чтобы этот Институт, в исключительном пользовании которого находится богатейшая сокровищница рукописей Горького (его архив), усилил издательскую деятельность.

Литература о творчестве М. Горького, изданная за последнее тридцатилетие, чрезвычайно обширна. Только за 1918—1932 гг. в книге С. Д. Балухатого «Критика о Горьком» зарегистрировано 3473 книги, статьи и заметки о Горьком, причем этот перечень далеко не исчерпывающий (хотя бы потому, что в нем не учтены литература на национальных языках нашего Союза, периферийные издания и т. д.).

В этом безбрежном потоке печатного материала мало исследовательских работ в точном смысле слова. Это в громадном большинстве случаев критические статьи и очерки об отдельных произведениях Горького или статьи обобщающего характера, в которых авторы пытались определить место и значение писателя в истории русской литературы, а также вскрыть социальную обусловленность и направленность его творчества. Были в этой обширнейшей критической литературе работы, правильно, с точки зрения ленинского и сталинского понимания социальной сущности и значения литературного искусства, определявшие творчество Горького в целом и отдельные его произведения. Но, кроме того, снова и снова повторялись попытки снизить значение творчества Горького для строительства социалистической культуры, поскольку последыши меньшевизма отрицали пролетарскую сущность этого творчества (различные варианты переверзианства и богдановского понимания пролетарской культуры). Эта quasi-научная борьба против Горького была, разумеется, бесплодной.

Исследовательская работа по изучению творчества М. Горького и его значения для развития литературы началась, в сущности, только после преждевременной смерти писателя. Эта работа ведется в нескольких направлениях. Изучаются отдельные произведения или группы произведений, объединяемых тематически, по жанровому признаку или по времени издания. Наибольшее внимание исследователей привлекали «Фома Гордеев», «Мать», автобиографическая трилогия, «Дело Артамоновых», так называемый «окуровский цикл», «Жизнь Клима Самгина», драматургия Горького (драматургия изучается не столько в историко-литературном плане, сколько как действенный фактор в истории русского театра).

Положено начало монографическому изучению произведений Горького с привлечением рукописного материала. Так, уже есть исследования о повести «Мать» (С. Касторского), о «Деле Артамоновых» (И. Нусинова), о «Фоме Гордееве» (Н. Белкиной), об автобиографических повестях (В. Десницкого), о драматургии Горького (С. Балухатого, Ю. Юзовского и других). Ряд работ этого рода подготовлен к печати К. Муратовой (о литературной деятельности Горького последних лет его жизни на Капри), С. Касторским (история творчества М. Горького в 1907—1911 гг.), С. Вальбе (о «Жизни Клима Самгина») и другими.

Кроме того, наследие М. Горького изучается по отдельным проблемам жизненного и творческого пути писателя. Здесь прежде всего нужно

отметить чрезвычайно обстоятельные работы Н. К. Пиксанова: «Горький и фольклор», «Горький — поэт», «Горький и национальные литературы» и другие.

Не все названные работы вполне удовлетворительны. Основная ценность некоторых из них заключается в широком охвате материала, в подготовке пути для дальнейших исследований. В других важны самая постановка проблемы и раскрытие ее содержания в прямых высказываниях Горького.

На ряд тем сделаны «заявки» в журнальных статьях. В них нередко даны в общем правильные решения, высказаны интересные соображения, есть ценные наблюдения, но решение вопросов только предварительное. Таковы многочисленные статьи на темы: Горький и Ленин, Горький в истории русской литературы, Горький — историк литературы, Горький и пролетарский гуманизм, Горький в борьбе с фашизмом и т. д.

В институтах Академии Наук СССР (в Горьковской комиссии Института литературы в Ленинграде и в подобной комиссии Института мировой литературы имени А. М. Горького в Москве) изучаются связи Горького с классиками русской литературы XIX века, а также его взаимоотношения с современными ему писателями.

Потребуется еще длительная работа многих исследователей, чтобы создать обобщающие исследования о Горьком, достойные имени пролетарского художника и нашей великой эпохи. Но, разумеется, на каждом этапе развития науки о Горьком могут и должны быть опыты создания обобщающих трудов. Такие работы ведутся: И. А. Груздев работает над вторым томом исследования «Горький и его время»; монографию о Горьком готовит автор данной статьи; подобные обобщающие работы выполняют и некоторые периферийные исследователи, связанные с Институтом литературы Академии Наук СССР.

Важнейшей предпосылкой изучения наследия М. Горького и первоочередной задачей литературных исследовательских учреждений является издание полного собрания сочинений Горького, включая переписку. Если издание академического собрания сочинений Горького (художественных произведений во всех редакциях, всей публицистики и переписки) — еще неосуществимая в полной мере задача, то издание полного собрания художественных сочинений с включением большой доли публицистики и отобранных писем — неотложная задача ближайшего времени. М. Горький

был очень строг, отбирая свои произведения для собрания сочинений; недоступность многих его художественных произведений, рассеянных в журналах, газетах и сборниках, которые не всегда имеются даже в крупнейших библиотеках Союза, осложняет работу исследователя и лишает читателя возможности ознакомиться с прекрасными творениями любимого писателя, которые были слишком сурово расценены их автором.

☆

В заключение позволим себе назвать ряд проблем по изучению жизни М. Горького и его творческого наследия, которые, с нашей точки зрения, важны и для литературной науки, и для развития советской художественной литературы. Укажем только некоторые: эстетические воззрения Горького в процессе их становления и развития и в художественной практике автора; Горький — критик и историк литературы; Горький — организатор советской литературы; Горький — учитель молодых писателей; Горький в истории советской культуры. Полагаем, что весьма важной, имеющей исключительное, принципиальное значение для развития советской литературы и науки, явилась бы работа на тему «М. Горький и партия».

Периферийные научные и учебные учреждения должны интенсивнее изучать связи Горького с данным краем или городом, особенно в советский период. Местная научная инициатива важна при изучении влияния Горького на развитие литератур братских народов.

И, наконец, пора приступить к серьезному, систематическому изучению мирового звучания Горького. Попытки в этом направлении уже делаются, в частности, Институтом востоковедения Академии Наук СССР; есть также работы, показывающие влияние Горького на Западе. Разработка этой темы должна принять особенно широкий размах и вестись систематически при содействии близких нам по духу научных работников Запада и Востока. Это будет одна из важных форм нашей борьбы за мир, за торжество наших идеалов.





СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИСТОРИЯ

ЯЗЫКОЗНАНИЕ И ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ



*ПЕЧАТАЕТСЯ ПО ПОСТАНОВЛЕНИЮ
РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО СОВЕТА
АКАДЕМИИ НАУК СССР*

Оформление и художественная редакция
художника *Н. А. Седельникова*

*

Технические редакторы:
С. А. Школьникова и *А. В. Щербаков*

*

Корректоры: *С. М. Рындзюнская, В. Г. Богословский,
З. П. Каплан, Э. А. Фонер, В. Б. Несвижский,
М. И. Бабасинова, Б. Ф. Третьяченко*

*

Гравюры портретов на дереве выполнены
С. И. Аферовым
и отпечатаны фабрикой Говнак в Москве

*

Рисунки портретов выполнены художником
Л. А. Зильберштейном
и отпечатаны по способу глубокой печати
типографией «Искра Революции»

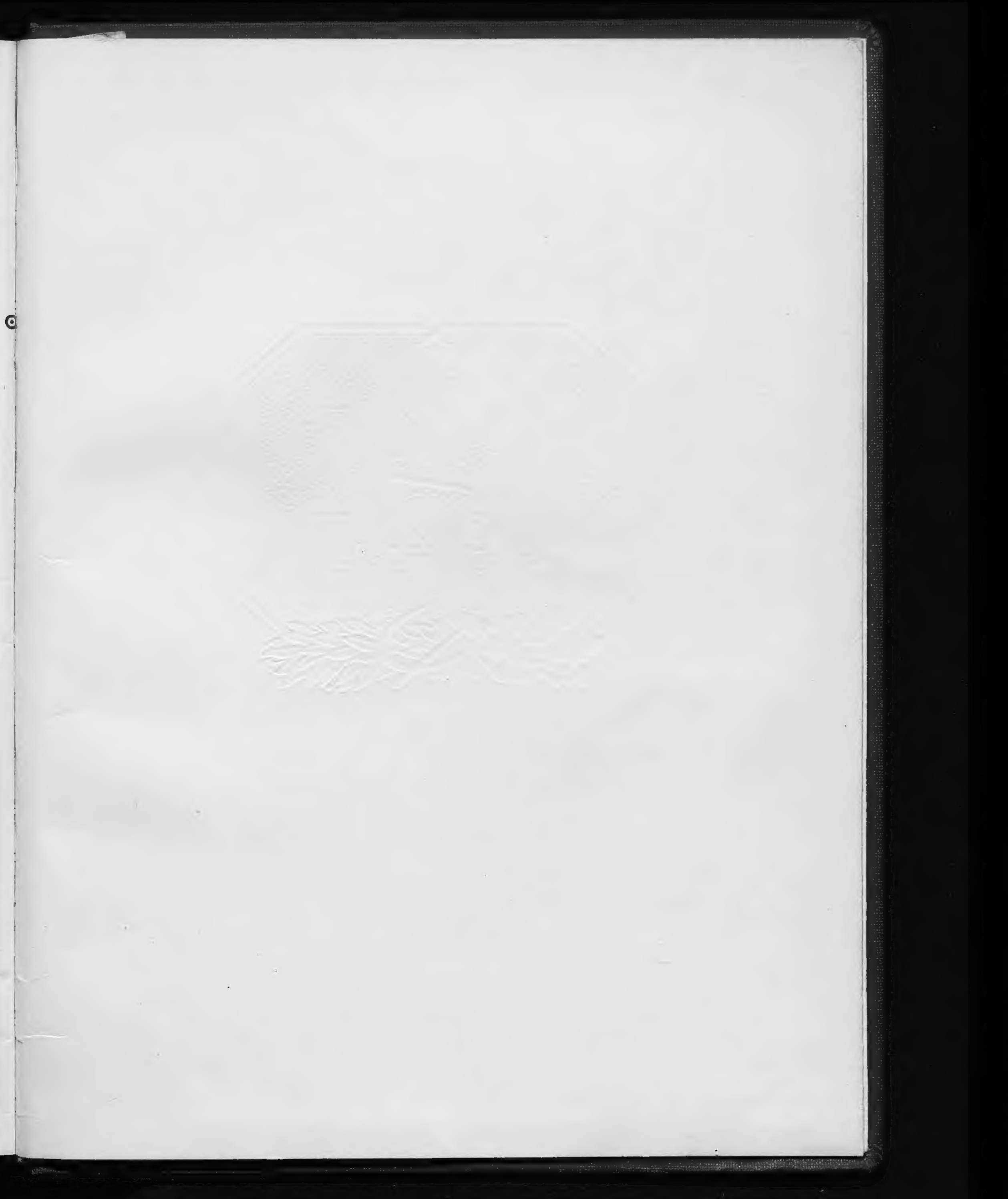
*

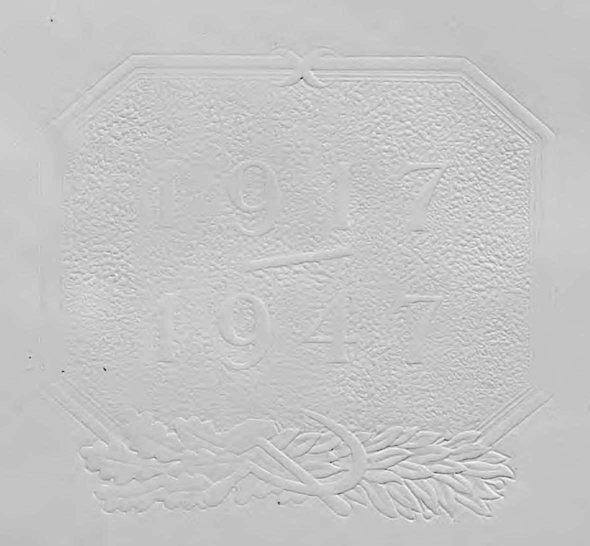
Набор, высокая печать и переплетные работы
выполнены Второй типографией Издательства
Академии Наук СССР. Москва, Шубинский пер., 10

*

Цена сборника (в двух частях) 100 рублей

РИСО АН СССР № 2941. А-09383. Типографский заказ № 2990.
Подписано в печать 9/X 1947 г. Печ. л. 104,5 + 23 вклейки.
Уч.-издат. л. 50. Тираж 3 300. Формат бумаги $82 \times 108^{1}/_{16}$




1917
1947

